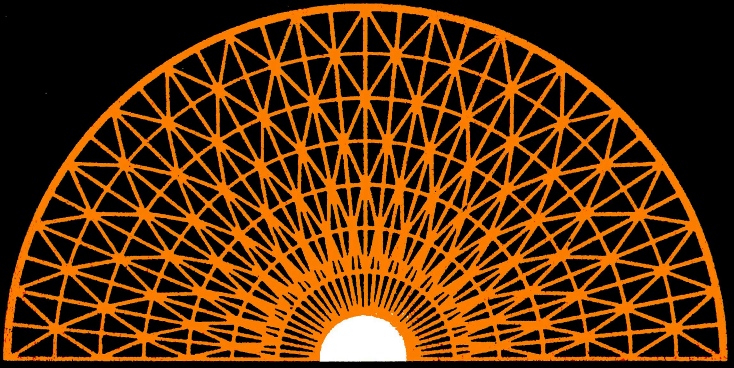
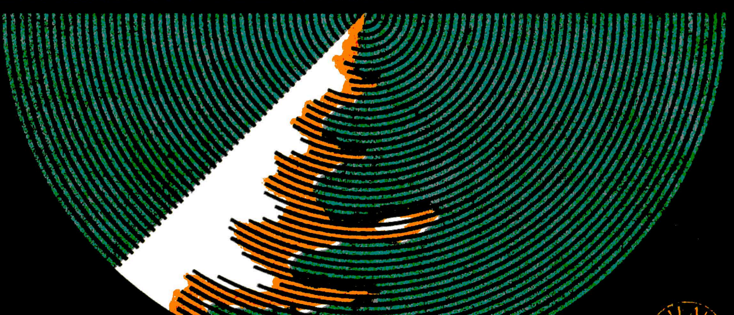


எம். கே. ராஜ்மாகினின்

ரேடார்: ஓர் எளிய விளக்கம்



М. К. РАЗМАХНИН

РАДИОЛОКАЦИЯ БЕЗ ФОРМУЛ, НО С КАРТИНКАМИ

ИЗДАТЕЛЬСТВО
«СОВЕТСКОЕ РАДИО»
СССР МОСКВА

எம். கே. ராஜ்மாகினின்

ரேடார்:
ஓர் எளிய விளக்கம்

"மீர்" பதிப்பகம்
சோவியத் நாடு · மாஸ்கோ

На тамильском языке

முன்னுரை

புத்தகத்தின் ஆசிரியர் வழக்கம் போல் அதற்கு ஒரு முன்னுரையும் எழுதி, தமது படைப்பு எத்தகையது, அதற்கு உதவியாக இருந்த நூல்கள் எவை, அதைப் படிக்க வேண்டியோர் யார், எப்படிப் படிக்க வேண்டும் என்றெல்லாம் விளக்கம் அளிக்கக் கடமைப்பட்டவர். அதோடு அவர், தமது புத்தகத்தைப் படிக்கப் போகிறவர்களில் எத்தனைப் பேருக்கு முடியுமோ அத்தனைப் பேருக்கும் நன்றி தெரிவித்துக் கொள்ள வேண்டும். இவ்வழியில் அவர் தமது எழுத்துப் பணியில் இவர்கள் எல்லோரையும் கூட்டாளிகளாக்கிக் கொள்ளலாமென்றும், குறை கூறி விமர்சிக்கும் இவர்களது போக்குக்குக் கடிவாளம் இடலாமென்றும் எதிர்ப்பார்க்கப்படுகிறது.

முன்னுரை எழுதுவது நூல் வெளியீட்டுத் துறையில் ஆழமாக வேரூன்றிய பழக்கமாய் இருத்தலால், விரும்பினாலும் விரும்பாவிட்டாலும் இவ்வாசிரியரும்

இதனை எழுதியாக வேண்டும். ஆயினும் வழக்கமான முறையில் அமைந்த முன்னுரை இதைப் போன்ற ஒரு புத்தகத்துக்குப் பொருத்தமாய் இராதென்பது இவ்வாசிரியரின் கருத்து. ஆகவே இவர் உரையாடல் முறையைக் கைக்கொள்கிறார். இந்த உரையாடலில் ஒரு தரப்பில் அமர்ந்திருப்பவர் ஆசிரியர். மறு தரப்பில் அமர்ந்திருப்பவர் பதிப்பக நெறியினைக் குறிப்பவர், இவர் பதிப்பாளர் என்ற மறைமுகப் பெயரை ஏற்கிறார்.

பதிப்பாளர் ஆரம்பிக்கிறார்.

பதிப்பாளர்: புத்தகங்களுக்குரிய வகைகளில் இது எதனைச் சேர்ந்தது?

ஆசிரியர்: எனது புத்தகம் எவ்வகையைச் சேர்ந்ததென்று வரையறுத்துச் சொல்வது கடினம். பெரிதும் வேறுபடும் இரு வகைகளைச் சேர்ந்தது இது. முதல் வகை விஞ்ஞான விளம்பரத்தின் பாற்பட்டது எனலாம், இரண்டாவது வகை விஞ்ஞான ரசனை நூலை நெருங்கியதாய் இருப்பதாகச் சொல்லலாம். அதே போது, ஜே. வில்லியம்ஸின் The Complete Strategist, யா. ஹுர்கீனின் So What? என்பவற்றைப் போன்ற, தற்போது பிரபலமாகியுள்ள ''விளையாட்டு விஞ்ஞான'' நூல்களது சாயலும் எனது புத்தகத்தில் வெகுவாய் இருக்கக் காணலாம்.

பதிப்பாளர்: அப்படியானால், அதிகார பூர்வமாக வரையறை செய்யப்பட்டிருக்கும் புத்தக வகைகளில் உங்கள் புத்தகம் எதையும் சேர்ந்ததில்லை என்று சொல்லுகிறீர்கள்?

ஆசிரியர்: சரி, விஞ்ஞான ரசனை நூல் வகையைச் சேர்ந்தது என்போம்.

பதிப்பாளர்: நீங்கள் பயன்படுத்திக் கொண்ட வெளியீடுகள் எவை?

ஆசிரியர்: பெரும்பாலும் சஞ்சிகைகள்; சிற்சில புத்தகங்களையும் பயன்படுத்திக் கொண்டேன்.

பதிப்பாளர்: யாருக்காக எழுதப்பட்ட புத்தகம் இது?

ஆசிரியர்: ''அறிவொளி பெற்ற சாதாரண'' வாசகருக்காக, கல்வி அறிவுடையவரும் இந்நூற் பொருள் குறித்து வானொலி, தொலைக்காட்சி, பத்திரிகைகள் முதலானவற்றின் மூலம் தெரிந்து கொள்ளக் கூடிய விவரங்களை மட்டும் அறிந்தவருமான வாசகருக்காக எழுதப்பட்டது. பள்ளிக்கூடப் படிப்பை முடித்தோருக்கும் ரேடாரைப் பற்றி அறிந்து கொள்ள விரும்புவோருக்கும் நிச்சயம் இது பயன் படக் கூடியது. ரேடார் நிபுணர்களுங்கூட இந்தப் புத்தகத்தைப் புரட்டிப் பார்ப்பார்களென எதிர் பார்க்கலாம். ஆனால் அவர்கள் இப்புத்தகத்தில் கூறப்படுவதைக் காட்டிலும் இ.திரெஸ்கின் தீட்டியுள்ள சித்திரங்களால்தான் பெரிதும் கவரப்படுவர். இந்தச் சித்திரங்கள் மெய்யாகவே போற்றத்தக்கவை.

பதிப்பாளர்: உங்கள் புத்தகத்தைப் படிக்க வேண்டிய முறை என்ன? இந்தக் கேள்வி வினோதமாகத் தோன்றலாம், ஆனால்' 1,2,4,7 3 ஆம் அத்தியாயங்களை முதலில் படித்துவிட்டு, பிறகு 6 ஆம் அத்தியாயத்தையும், முடிவில் திரும்பவும் முதல்

அத்தியாயத்தையும் படிக்கும்படி வாசகருக்கு ஆலோசனை கூறும் ஆசிரியர்களும் இருக்கிறார்கள்.

ஆசிரியர்: வாசகத்தை முறையான கிரமத்தில் படிக்கலாம். சித்திரங்களைத் தொடக்கத்திலிருந்து இறுதி வரையோ, இதற்கு எதிர் வழியிலோ பார்த்துச் செல்லலாம்.

பதிப்பாளர்: உங்கள் புத்தகம் பாட நூலாகப் பயன்படக் கூடியதா?

ஆசிரியர்: இல்லை, சில அத்தியாயங்களைப் பாடப் புத்தகத்துக்குரிய முறையில் அமைத்திட இவ்வாசிரியர் முயன்றுள்ளார் என்ற போதிலும், ஒரு போதும் இது பாட நூலாகப் பயன்படக் கூடியதல்ல. வாசகர் தாமே விடை காண்பதற்குரிய பயிற்சி வினைக்கள் சில அத்தியாயங்களில் அடங்கி யிருப்பது மெய் தான். ஆனால் வாசகர் இவற்றைக் கவனியாது ஓதுக்க விரும்புவாரின் அவ்வாறே செய்யலாம், அதனால் தீங்கு நேர்ந்துவிடாது. அடுத்து வரும் அத்தியாயங்கள் எப்படியும் எளிதில் புரிந்து கொள்ள கூடியவையே. அதிக நுட்ப நயம் வாய்ந்த நிலைமைகள் எண்ணிட்டுக் காட்டுப்பட்டு, அதே வரிசையில் விவாதிக்கப்படுகின்றன. எல்லா முறைகள், வினை நுட்பங்கள் ஆகியவற்றின் சிறப்புகளையும் குறைகளையும் எடுத்துரைப்பதில் ஆசிரியர் கவனம் செலுத்தியுள்ளார். இதில் அவர் எதார்த்த நோக்குடையவராக இருக்க முயன்றுள்ளார். இருப்பினும் இந்தப் புத்தகம் பாட நூலாகப் பயன்படத் தக்கதல்ல. ரேடாரில் அதிக நாட்டம் கொள்ளும்படித் தூண்டக் கூடியதாக இருப்பினும், இப்புத்தகம் ரேடாரைப் பொறுத்த வரை

சாதாரண வாசகரைச் சாதாரண வாசகருக்குரிய நிலையிலேதான் விட்டுச் செல்கிறது. ஆசிரியரின் இறுதிக் குறிக்கோளும் இதுவேதான்.

பதிப்பாளர்: உங்களுக்கு உதவியதற்காக யாருக்காவது நீங்கள் நன்றி தெரிவிக்க விரும்புகிறீர்களா?

ஆசிரியர்: நிச்சயம் விரும்புகிறேன். யாவருக்கும் முதலாய், கையெழுத்துப் பிரதியை ஒழுங்கு செய்வதற்காகப் பணியாற்றியவர்களுக்கு, அதிகமாய் வெகுமதி ஏதும் இல்லாத அவர்களது முயற்சிக்காக நன்றி செலுத்துகிறேன்.

கடைசியாகக் கூறப்படினும், முக்கியத்துவத்தில் இது குறைவானதல்ல. இது விஞ்ஞான ரசனை நூல் என்பதால், சாதாரண விவரங்களையும் எளிய வடிவில் விளக்க வேண்டுமென்று முயன்று இவ்வாசிரியர் இவற்றின் உருவத்தைக் குலையச் செய்திருக்கலாம். உன்னிப்பான வாசகர் சிற்சில குறைபாடுகளைக் கண்டறிந்து கூறலாம், முன்கூட்டியே இவரிடம் மன்னிப்பு கேட்டுக் கொள்கிறேன்.

காரண விளக்கம்

வாசகரது ஆவலைத் தூண்டியாக வேண்டும், அவரை அக்கறை கொள்ளும் படியாவது செய்தாக வேண்டும். இல்லையேல் ஓய்வு நேரம் அதிகமில்லாமல் அவதியுறும் வாசகர், இதுகாறும் தாம் கேட்டறியாத ஒரு புத்தகத்தில் ஒரு பக்கமேனும் படிப்

பாரா என்பது சந்தேகம்தான். பாடப் புத்தகங்களது ஆசிரியர்கள் மீது நம்மையும் மீறி நமக்குப் பொறுமையாகவே இருக்கிறது, ஏனெனில் மிகச் சாதாரண பாடப் புத்தகமுங்கூட, அச்சாகும் பிரதிகளது எண்ணிக்கையிலும் ''கவர்ந்து கொள் ளப்படும்'' வாசகர்களது எண்ணிக்கையிலும் அமர இலக்கியங்களோடும் பிற பல துப்பறியும் நாவல்க ளோடும் சரிக்குச் சரியாகப் போட்டியிடக் கூடிய நிலையில் இருக்கிறது. எப்படிப்பட்ட வாசகர்கள் என்பதையும் பாருங்களேன்! இளைஞர்களும் நடுத்தர வயதினரும் ஆவர். நேரத்தைச் செலவிடுவதில் கடுஞ் செட்டாய் இருக்கக் கூடியவர்கள், புத்தகங்கள் குற்றங் குறையின்றி தரமாய் இருக்க வேண்டுமென் பதில் கண்டிப்பானவர்கள்.

சரி, அது போகட்டும், உங்களுக்கு ஒரு புதிர் போட்டு என் வேலையைத் துவக்குகிறேன். எதிர்ப் பகத்தில் நீங்கள் காண்பது ஒரு புத்தகத்திலிருந்து எடுக்கப்பட்ட ஒரு பக்கம். அது என்ன புத்தகம் என்று நினைக்கிறீர்கள்?

உங்களுக்கு இந்தப் புதிர் எளிதிலும் எளிதான ஒன்றாகத் தோன்றக் கூடும். கணிதப் புத்தகத்திலிருந் தோ, இல்லையேல் தத்துவார்த்த இயற்பியல் (theoretical physics) நூலிலிருந்தோ எடுக்கப்பட்டதாக இருக்குமென நினைப்பீர்கள். நீங்கள் நினைப்பது சரி யல்ல, எப்படியும் முற்றிலும் சரியானதல்ல. இது கணிதத்துடன் தொடர்பு கொண்டது என்பது மெய் தான், ஆனால் இக்காலத்திய தனித்தேர்ச்சித் துறை பற்றிய எந்தப் புத்தகமும் கணிதத் தொடர்புடை

$$\hat{\lambda}_n = \sum_{i=N}^{N} \bar{\Lambda}_n^{(i)} \sum_{k=1}^{n} C_{(i)nk} [z_{(i)k} + K_{(i)k} (\hat{\lambda}_k + \Delta_{(i)k} - \bar{\lambda}_k)] + \bar{\lambda}_n, \quad (6.6.78)$$

$$C_{(i)} = [A_{(i)} + V]^{-1}, \quad \bar{\Lambda}_n^{(i)} = \frac{\Lambda_n^{(i)}}{\sum_{k=-N}^{N} \Lambda_n^{(k)}},$$

$$\Lambda_n^{(i)} = P(y \mid \hat{\lambda} + \Delta_{(i)}) \left[\frac{\det (A_{(i)}^{-1} + R)}{\det A_{(i)}^{-1}} \right]^{-1/2} \times$$

$$\times \frac{\exp\left\{-\frac{1}{2} [z_{(i)} + A_{(i)} (\hat{\lambda} - \Delta_{(i)} - \lambda)]^{+} (A_{(i)}^{-1} - C_{(i)}) [z_{(i)} + A_{(i)} (\hat{\lambda} - \Delta_{(i)} - \dot{\lambda})]\right\}}{\exp\left\{-\frac{1}{2} z_{(i)}^{+} A_{(i)}^{-1} z_{(i)}\right\}} =$$

$$= P(y \mid \hat{\lambda} + \Delta_{(i)}) \frac{P_{cш(i)}}{P_{ш(i)}}. \quad (6.6.79)$$

$$\hat{\lambda}(t) = \sum_{i=-N}^{N} \bar{\Lambda}^{(i)}(t) \int_{t_0}^{t} c_{(i)}(t, \tau) [z_{(i)}(\tau) + K_{(i)}(\tau) (\hat{\lambda}(\tau) - \Delta_{(i)}(\tau) -$$

$$- \overline{\lambda(\tau)}] \, d\tau + \overline{\lambda(t)}, \quad (6.6.80)$$

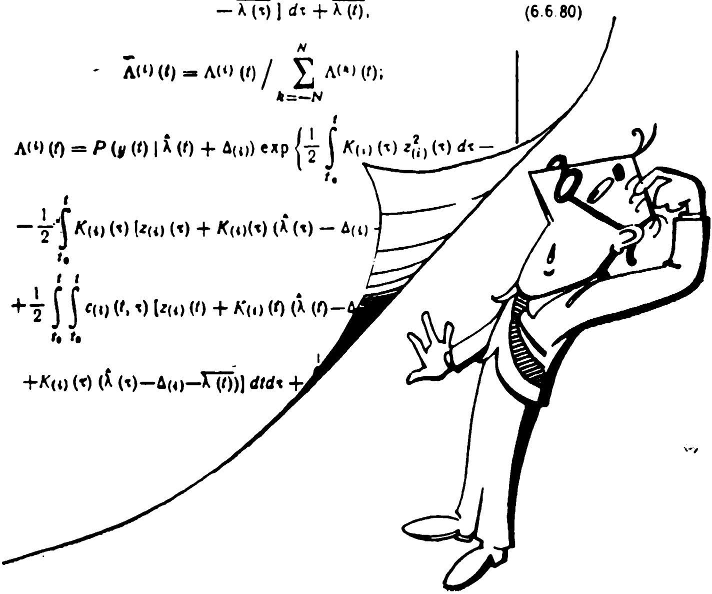
$$\bar{\Lambda}^{(i)}(t) = \Lambda^{(i)}(t) \Big/ \sum_{k=-N}^{N} \Lambda^{(k)}(t);$$

$$\Lambda^{(i)}(t) = P(y(t) \mid \hat{\lambda}(t) + \Delta_{(i)}) \exp\left\{\frac{1}{2} \int_{t_0}^{t} K_{(i)}(\tau) z_{(i)}^{2}(\tau) \, d\tau - \right.$$

$$- \frac{1}{2} \int_{t_0}^{t} K_{(i)}(\tau) [z_{(i)}(\tau) + K_{(i)}(\tau) (\hat{\lambda}(\tau) - \Delta_{(i)}$$

$$+ \frac{1}{2} \int_{t_0}^{t} \int_{t_0}^{t} c_{(i)}(t, \tau) [z_{(i)}(t) + K_{(i)}(t) (\hat{\lambda}(t) -$$

$$+ K_{(i)}(\tau) (\hat{\lambda}(\tau) - \Delta_{(i)} - \overline{\lambda(t)})] \, dt d\tau +$$



யதுதான். **புள்ளியியல் ரேடாரின் தத்துவார்த்த அடிப்படைக் கூறுகள்** என்றொரு புத்தகத்திலிருந்து எடுக்கப்பட்ட பக்கமாகும் இது. நமது புத்தகத்தின் தலைப்பிலுள்ள சொல்லை இங்கே நீங்கள் சந்திக்கிறீர்கள். ரேடியோ மின்னணுவியலைச் சேர்ந்த ஒரு துறையே ரேடார். இதன் அடிப்படைத் தத்துவங்களை விளக்க வேண்டுமாயின் கல்லூரிப் பட்டதாரிகளும் பல சந்தர்ப்பங்களில் பழக்கப்படாத உயர் கணிதத்தைக் கையாண்டாக வேண்டும். ஆனால் தூய கணிதத்தையோ, தத்துவார்த்த இயற்பியலையோ போலல்லாது, ரேடாரானது எங்கு சென்றாலும் அனேகமாய் அடிக்கொரு தரம் நம் எதிரே வந்து நிற்கும் ஒன்றாகும். தவிரவும் தூய கணிதத்திலும் தத்துவார்த்த இயற்பியலிலும் ஈடுபட்டுள்ளோரைக் காட்டிலும் பன்மடங்கு அதிகமானோர் ரேடார் தத்துவம், ரேடார் பொறியியல், ரேடார் இயக்குமுறை ஆகியவற்றில் ஈடுபட்டிருக்கிறார்கள்.

இந்தப் புத்தகம் ஏன் எழுதப்பட்டது, இதிலிருந்து வாசகர் தெரிந்து கொள்ளக் கூடியவை என்ன என்பதை விளக்குவதற்கு இதுவே தக்க தருணம். இது ரேடார் வல்லுநர்களுக்காக எழுதப்பட்ட புத்தகமல்ல, ரேடாரைப் பற்றிய பாட நூலுமல்ல. ரேடார் என்பது என்ன, அது ஆற்றும் பணி என்ன, இன்றைய உலகில் இது இத்தனை முக்கியத்துவம் பெற்றிருக்க என்ன காரணம், ஏராளமானோர் இதனைத் தமது வாழ்க்கைப் பணியாக ஏன் கொண்டிருக்கிறார்கள் என்பதையெல்லாம் விளக்குவதற்கான ஒரு முயற்சியே ஆகும் இந்தப் புத்தகம்.

வல்லுநர்களுக்காக எழுதப்பட்ட புத்தகமல்ல என்பதால், கணித சூத்திரங்களை இங்கு நாம் உபயோகிக்கவில்லை (புதிர் போடுவதற்காகத் தரப்பட்ட பக்கத்தைக் கவனிக்க வேண்டாம்). ''விரல் விட்டுக் காட்டி'' யாவற்றையும் விளக்க முயலுகிறோம் என்பதாகச் சொல்லலாம். இந்தப் பண்டைக் கால உபகரணத்திற்கு உதவியாய் இங்கு சித்திரங்களைப் பயன்படுத்திக் கொள்கிறோம். நூறு தரம் கேட்பதைக் காட்டிலும் கண்ணால் ஒரு தரம் காண்பது நன்று என்பது பழமொழி (நூறு தரம் என்பது சற்று மிதமிஞ்சியதாக இருக்கலாம், ஆனால் சொல்லணி என்ற முறையில் இது அனுமதிக்கத் தக்கதே). எந்தப் படமும் அதே பரப்பளவுள்ள வாசகத்தை விட அதிக தகவல் அடக்கம் கொண்டதாகும். இதற்கு நிரூபணம் வேண்டுமானால், இப்புத்தகத்திலுள்ள எந்தச் சித்திரத்தையும் எடுத்துக் கொண்டு அதன் மூலம் தெரிய வரும் விவரங்களை வாய்ப்படச் சொல்லி அதை மிகச் சிறிய எழுத்தில் அச்சிடுவதற்குத் தேவையான பரப்பளவை மதிப்பிட்டுப் பாருங்கள், தெரியும்.

அவ்வளவுதான், இனி நீங்கள் படிக்க வேண்டியதுதான் பாக்கி...

முதல் பாகம்
பரிச்சயம் பெறுங்கள்



ரேடார் என்பது என்ன?

வாசகரை இக்கேள்வி திணறடித்து விடாது. நமது வாசகர் ரேடார் நிலையத்தில் வேலை செய்கிறவராக இருக்க வேண்டியதில்லை. பத்திரிகைகளிலும் தொலைக் காட்சி நிகழ்ச்சிகளிலும் விஞ்ஞானத் திரைப்படங் களிலும் அவர் படித்தும் பார்த்தும் இருப்பார்—சுழலும் ரேடார் ஏரியல் (aerial) அவருக்குத் தெரி யாததல்ல; மங்கலாய் ஒளிரும் ரேடார் திரைகளில் தெரியும் விந்தையான ஒளித் திட்டுகளாகிய ''இலக் குப் புள்ளிகள்'' (target pips) என்பவற்றை ரேடார் ஊழியர்கள் வைத்த கண் வாங்காமல் பார்த் துக் கொண்டிருப்பதையும் அவர் கவனித்திருப்பார். எல்லோரும் அறிந்த விவரங்கள் இவை. இங்கு நாம் இவை குறித்து மேலும் விரிவாகவும் ஆழமாகவும் தெரிந்து கொள்ள முயலுவோம்.

ஒரு விளக்கத்துடன் தொடங்கலாம். ஆதாரமா கக் கொள்ளத்தக்க எந்த புத்தகத்திலும் காணக்

கூடியது இது: ''ரேடார் என்பது ரேடியோ அலைக ளைக் கொண்டு ஒரு பொருளைக் கண்டு கொள்வதற் காகவோ, காற்றிலும் நீரிலும் நிலத்திலும் அப்பொ ருள் செல்லும் திசை அல்லது அதன் இடநிலை அல்லது அதன் இயக்கத்தைக் கணிப்பதற்காகவோ அமைந்த சாதனமாகும்.''

விளங்குகிறது அல்லவா? அவ்வளவுத் தெளிவாக இல்லையா? அப்படியானல் மேலும் விரிவான விளக் கம் அவசியமாகும்.

சுற்றுப்புற விசும்பினுள் முதற்கண் ரேடியோ அலை ஒன்று அனுப்பப்படுகிறது; இதைச் செய்வது அலைப் பரப்பி (transmitter) எனப்படும் கருவி. பதில் சைகை (signal) வந்து சேர்வதற்காகக் காத்திருக் கிருர்கள். அலை ஏற்பி (receiver) எனப்படும் கருவி பதில் சைகை வந்து சேர்வதைத் தெரிவிக்கிறது; இந்த ஏற்பிக் கருவி வலுவில்லாத மெல்லிய சைகை யையும் பற்றிக் கொள்ள வல்லதாகிய ஒரு பெரிய ஏரியலுடன் இணைந்து செயல்படுகிறது. செலுத்தப் படும் ரேடியோ அலையை எதிரடிப்பதற்குப் (to reflect) பரப்பியின் சுற்று வட்டாரத்தில் எந்தப் பொருளும் இல்லையெனில் பதில் சைகை ஏதும் வந்து சேராது; ஆனுல் பெரும்பாலும் ரேடியோ அலை அதன் பாதையில் ஏதாவதொரு பொருளைச் சந்திக்க நேரும். அப்போது அது எதிரடிக்கப்படும் அல்லது சிதறடிக்கப்படும். ஏதாவதொரு பொருளின் மேல் பட்டு ரேடியோ அலை எதிரடிக்கப்படும்போது, உரு வத்தில் மாற்றமின்றி அவ்வலையின் ஒரு பகுதி திருப்பி அனுப்பப்படுகிறது. ரேடார் வல்லுநர்கள் இதை

உருமாறு எதிரடிப்பு (specular reflection) என்கின்றனர். ஏரியலால் பற்றிக் கொள்ளப்பட்டதும் இது ஏற்பியில் வலிமை வாய்ந்த சைகையை உண்டாக்குகிறது. ரேடியோ அலையை எதிரடிக்கும் பொருளானது பரப்பளவில் எவ்வளவுக்கெவ்வளவு பெரிதாக இருக்கின்றதோ, அந்த அளவுக்குச் சைகையின் வலிமையும், ரேடார்த் திரையில் தோன்றும் ஒளிப் புள்ளியின் பிரகாசமும் அதிகமாக இருக்கும். எதிரடிக்கும் பரப்பானது துரதிருஷ்ட வசமாகத் தக்க நிலையில் அமைந்திராவிடில் எதிரடிக்கும் அலை ரேடார் ஏரியலை வந்தடையாமல் விலகி வேறு எங்காவது போய்விடும்.

இவ்வகையான சோதனையொன்றை எளிதில் வீட்டிலே செய்து பார்க்கலாம். இதற்கு வேண்டியவை எல்லாம் முகம் பார்க்கும் சிறிய கண்ணாடியும் சன்னலில் படும் சூரிய ஒளியும்தான். ரேடார் நிலையத்தின் பரப்பியாகச் சூரியனும், எதிரடிக்கும் பொருளின் பரப்பாகக் கண்ணாடியும் செயல்படுகின்றன. எதிரடிக்கப்படும் சைகையின் ஏற்பியாக வீட்டுப் பூனையையுங்கூட நீங்கள் பயன்படுத்தலாம். உங்கள் கையிலுள்ள கண்ணாடியால் எதிரடிக்கப்படும் சூரிய ஒளி சுவரில் பட்டு ஓடும் வரை பூனை அமைதியாகவே அமர்ந்திருக்கும் (எதிரடிக்கப்படும் சைகை ஏற்பியை அடையாமல் விலகிச் சென்றுவிடுகிறது). ஆனால் எதிரடிக்கப்படும் சூரிய ஒளி பூனையின் கண்களில் அடித்ததும் பூனை கண்களை மூடிக் கொள்ளும்—எதிரடிக்கப்படும் சைகை ஏற்பியால் பற்றிக் கொள்ளப் பட்டுவிட்டது என்று இதற்கு அர்த்தம். மெய்தான்,

உங்களது சோதனை இதற்கு மேல் நீடிக்க முடியாது. ஏனென்றால் பூனை ஓட்டமாய் ஓடிவிடும், ஒரு வாரத்துக்கு உங்கள் எதிரே தலை காட்டாது. என்றாலும் உண்மை நிரூபித்துக் காட்டப்பட்டுவிட்டது, விஞ்ஞானம் வெற்றி வாகை சூடிவிட்டது. ஆனால் இந்தச் சோதனையை நடத்திப் பார்க்க வேண்டியதில்லை, மனத்துள் கற்பனை செய்து கொண்டாலே போதும். எந்தச் சந்தேகத்துக்கும் இடமின்றி உண்மை நிலை நாட்டப்பட்டுவிடும்.

இனி, சிதறடிக்கப்படுதல் (scattering) குறித்துக் கவனிக்க வேண்டும். ரேடார் அலைகளைச் சிதறடிக்கும் பொருளைப் பல்வேறு திசைகளிலும் நோக்கும் பல்லாயிரக் கணக்கான சின்னஞ்சிறு கண்ணாடிகளால் ஆனதாகக் கற்பனை செய்து கொள்ளலாம். எதிரடிக்கப்படும் சைகைகளும் இப்போது பல்வேறு திசைகளிலும் செல்வதினால் அவை ஒவ்வொன்றும் வெகுவாய் பலம் இழந்திருக்கும். இவற்றில் ஒன்றோ, ஒரு சிலவோ கட்டாயம் ரேடார் ஏரியலை வந்தடையும், எனவே எதிரடிக்கும் பொருள் அல்லது ரேடார் துறைக்குரிய தனி வழக்கில் சொல்வதெனில் இலக்கு ஒன்று இருப்பதை ரேடாரின் ஏற்பியானது பதிவு செய்து காட்டும். ஆனால் இதற்கு ரேடாரின் ஏற்பி மிக பெரும் அளவுக்கு உணர்திறன் (sensitive) வாய்ந்ததாக இருப்பது அவசியம்.

இதுகாறும், நாம் இலக்குகளின் உருவ அமைப்பை மட்டுமே கவனித்தோம். ஆனால் எதிரடிக்கப்படும் சைகைகளின் வலிமையானது இலக்குகளின் உருவ அமைப்பை மட்டுமின்றி, அதே அளவுக்கு

அவற்றின் இயற்பியல்புகளையும் பொறுத்ததாகும். பொதுவாக உலோகங்களும், நல்ல மின் கடத்திகளுமான பொருள்கள்தாம் நல்ல எதிரடிப்பான்களாக (reflectors) உள்ளன. தம்மீது படும் ரேடியோ அலையில் சொற்ப பகுதியை மட்டுமே இவை உட்கவர்ந்து கொள்கின்றன. அனுப்பப்படும் ரேடியோ அலையினை வலிமை குன்றாமல் ஏறத்தாழ அதே வலிமை கொண்ட சைகையாக எதிரடிப்பதாகக் கொள்ளலாம். ஏனைய பொருள்களாலான இலக்குகள் ரேடியோ அலைகளை பெருமளவில் உட்கவர்ந்து கொள்வதால், எதிரடிக்கப்படும் சைகைகள் வலிமை குன்றிவிடக் காண்கிறோம். எனினும் ரேடியோ அலைகளில் வழியில் தட்டுப்படும் எந்தப் பொருளும் அலைகளைக் குறைந்த அளவிலாவது எதிரடிக்கவே செய்கிறது. ஆவி வடிவிலானவையாகத் தோன்றும் மெல்லிய மேகங்களுங் கூட ரேடார்த் திரையில் ஒளிப் புள்ளிகளைத் தோற்றுவிக்கக் கூடியவையே.

ஆக, ரேடாரின் வேலைக்கு வேண்டியவை ரேடியோ அலைப் பரப்பி, ஏரியல், உணர்திறன் மிக்க ஏற்பி, சைகை, மற்றும் எதிரடிக்கும் இலக்குப் பொருள் ஆகியவை என்பதைத் தெரிந்து கொண்டோம். இவை எல்லாவற்றையும் ஒருங்கிணைந்து செயல்பட வைக்கும் முறையை இன்னும் நாம் தெரிந்து கொள்ளவில்லை. இதைப் பல வழிகளில் செய்யலாம். இந்தப் பல வழிகளுக்கும் ஏற்ப பல விதமான ரேடார் நிலையங்கள் ஒழுங்கமைக்கப்படுகின்றன. இவற்றில் மிகவும் முக்கியமான இரு விதங்களை இப்போது ஆராய்வோம்.

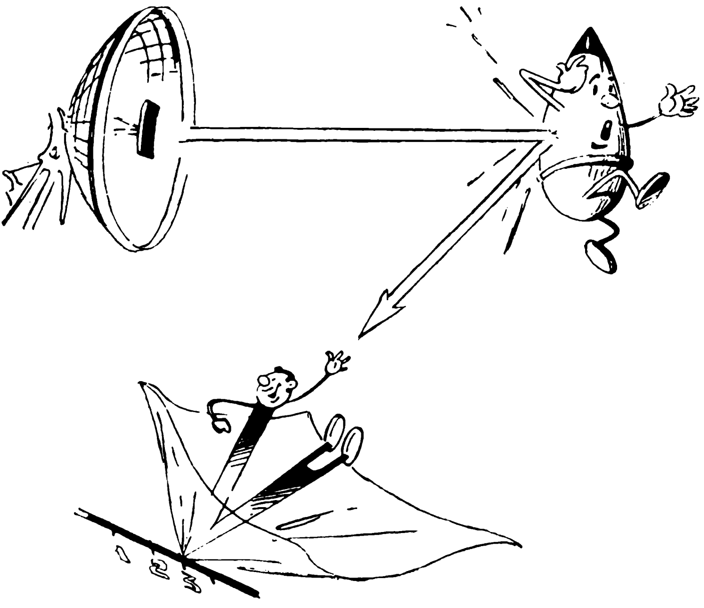
மின்துடிப்பு ரேடார் (pulsed radar) இது விநாடியில் ஓர் ஆயிரம் அல்லது ஒரு மில்லியனில் ஒரு பாகம் இடைவெளி கொண்ட ரேடியோ மின் துடிப்புக்களைப் பரப்புகிறது. பரப்பியானது துடிப்பை வெளிச் செலுத்துகையில் ரேடாரின் ஏற்பியானது செயல்படாமல் நிறுத்தி வைக்கப்படுகின்றது. இல்லையேல் வலிமை வாய்ந்த வெளிச் செல்லும் மின்துடிப்பு ஏற்பியைக் கெடுத்து விடும். பரப்பி மின்துடிப்பை வெளியிட்டு விட்டு நின்றவுடன், ஏற்பி செயல்படத் துவங்குகின்றது. எதிரடிக்கும் வலிமை குன்றிய சைகையை எதிர்ப்பார்த்து ஏற்பியானது தயாராகக் காத்திருக்கிறது. எதிரடிக்கும் சைகை வந்து சேர்ந்ததும், அல்லது சைகை எதுவும் வரப் போவதில்லை என்று திண்ணமாகத் தெரிந்ததும், மறுபடியும் பரப்பி செயல்படத் துவங்குகிறது, அதே போது மறுபடியும் ஏற்பி செயல்படாமல் நிறுத்தி வைக்கப் படுகின்றது. ரேடார் நிலையம் இயங்கும் வரை இந்த நிகழ் முறை திரும்பத் திரும்பத் தொடர்ந்து நடை பெறுகிறது.

தனது குரலின் எதிரொலியைக் (echo) கேட்டு மகிழ விரும்பும் ஒருவரைப் போல் மேலே கூறிய ரேடார் நிலையம் செயல்படுகின்றது. நீங்கள் குரல் கொடுத்ததும் அது எதிரொலியாகச் சிறப்புடன் திரும்பி வந்து உங்கள் காதில் ஒலிக்கும் நல்ல இடம் ஒன்று நிச்சயம் உங்களுக்குத் தெரிந்திருக்கும். அந்த இடத்திற்குச் சென்று உரக்க ஒரு தரம் கூவுங்கள், பிறகு அமைதியாக உற்றுக் கேளுங்கள். நீங்கள் பாக்கியசாலியாாக இருந்தால் எதிரொலியானது

இரண்டு அல்லது மூன்று முறை திரும்பத் திரும்பக் கேட்கும். எதிரொலி அடங்கிய பின்பு, மறுபடியும் உரக்கக் கூவுங்கள், மறுபடியும் எதிரொலி கேட்கும். ஆனால் நீங்கள் இடைவிடாது முழு நேரமும் கூவிக் கொண்டிருந்தால், எதிரொலி உங்களுக்குக் கேட்காது. ஏனெனில் திரும்பி வரும் எதிரொலி தொடர்ந்து நீங்கள் எழுப்பும் கூவலால் மூழ்க்கடிக்கப்பட்டுவிடும். எனவேதான், எதிரடிக்கப்படும் வலுக்குன்றிய சைகைகளை (ரேடார் ஊழியர்களும் இவற்றை எதிரொலிச் சைகைகள் என்று குறிப்பிடுகிறார்கள்) பெற்று இனங் கண்டு கொள்ளும் பொருட்டு ரேடார் நிலையமும் மின்துடிப்புகளை வெளிச் செலுத்துவதை இடையிடையே நிறுத்திக் கொள்கிறது.

எனினும், தொடர்ந்து ரேடியோ அலைகளைப் பரப்பிக் கொண்டிருக்கும் ரேடார் நிலையங்களும் இருக்கின்றன. அவைகளுக்குத் தொடரலை (continuous-wave) ரேடார் நிலையங்கள் என்று பெயர். அவை எதிரொலிச் சைகைகளைத் திரும்பப் பெறுவது எப்படி? ரேடியோ அலைகள் யாவும் குறிப்பிட்ட அதிர்வெண்களிலான (frequencies) மின்காந்த அலைவுகளாகும்.

எடுத்துக் காட்டாகப் பரப்பியால் செலுத்தப்படும் சைகையின் அதிர்வெண் நெ. 1 ஆக இருக்கட்டும். நிலையாகஇருக்கும் ஒரு இலக்கின் மீது பட்டுத் திரும்பவும், ரேடியோ எதிரொலிச் சைகையின் அதிர்வெண்ணும் நெ. 1 ஆகத் தானிருக்கும். ஆனால் நகர்ந்து கொண்டிருக்கும் ஓர் இலக்கின் மேல் பட்டு எதிரடிக்கப்படும் எதிரொலிச் சைகையின் அதிர்



வெண் கட்டாயம் மாறுபட்டு இருக்கும். இரயிலானது உங்களை நோக்கி வரும்போது, அதன் ஒலியின் சுருதி கூடியும், அது உங்களைத் தாண்டிச் சென்றபின் அதன் ஒலியின் சுருதி குறைந்தும் இருக்கக் காண்பீர்கள். பள்ளிக்கூட இயற்பியல் பாடப் புத்தகங்களில் தரப்படும் ஓர் எடுத்துக்காட்டு இது, நீங்கள் படித்திருப்பீர்கள்.

தொடரலை ரேடாரின் ஏற்பியானது வெளிச் செலுத்தப்படும் அதிர்வெண் கொண்ட அலைகளை ஏற்காதபடி அது இசைவு செய்யப்பட்டிருக்கும். வெளிச் செலுத்தப்படும் அலையின் அதிர்வெண்ணைக் காட்டிலும் கூடுதலாகவோ அல்லது குறைவாகவோ அதிர்வெண் கொண்ட அலைகளை மட்டுமே அது ஏற்கக் கூடியதாக இருக்கும். ஆகவே தொடரலை ரேடார் நிலையத்தால் நிலையாய் இருக்கும் இலக்குகளைக் கண்டறிந்து சொல்ல முடிவதில்லை. நிலையான இலக்குகளிலிருந்து வரும் எதிரொலிச் சைகையின் அதிர்வெண்ணும் வெளிச் செல்லும் சைகையின் அதிர்வெண்ணும் ஒத்திருப்பதே அதற்குக் காரணம். ஆனல் நகர்ந்து கொண்டிருக்கும் இலக்கு எவ்வளவு சிறிதாய் இருந்தாலும் இந்நிலையம் அதைக் கண்டறிந்து திரையில் ஒளிப் புள்ளியாகக் காட்டும். டாப்பளர் ரேடார் (Doppler radar) என்று அழைக்கப்படும் இவ்வகையான ரேடாரின் குறைபாடு என்னவெனில் இலக்குகளின் தொலைவினை இதனல் கணிக்க முடியாது.

இலக்குகளின் தொலைவையும் கணிக்கும்படி சிக்கலான வினை நுட்பங்களுடன் கூடிய தொடரலை ரேடார்களும் இருக்கின்றன. இவற்றில் வெளிச் செலுத்தப்படும் அலைகளின் அதிர்வெண்ணனது தொடர்ந்து மாற்றப்படுகிறது, இவை அதிர்வெண் அலைப்பண்பேற்றப்பட்ட (frequency modulated) ரேடார்கள் என்று அழைக்கப்படுகின்றன., எடுத்துக்காட்டாக, அதிர்வெண் — அலைப்பண்பேற்றப்பட்ட ரேடார் ஒன்று, முதல் கால இடைவெளியில் அதிர்

வெண் நெ. 1ம், அடுத்த இரண்டாம் கால இடை வெளியில் அதிர்வெண் நெ. 2ம், மூன்றும் கால இடை வெளியில் அதிர்வெண் நெ. 3ம், இதே போன்று ஒவ்வொரு கால இடைவெளியிலும் வெவ்வேறுன அதிர் வெண்ணும் கொண்ட அலையைப் பரப்பி, கடைசியாக 10ஆம் கால இடைவெளியில் அதிர்வெண் நெ. 10ம் கொண்ட அலையைப் பரப்புவதாகக் கொள்வோம். பதினென்றுவது கால இடைவெளியில் மறுபடியும் நெ. 1 அதிர்வெண் துவக்கப்பட்டு, முன்பு போலவே தொடர்ந்து மற்றவை யாவும் வரிசையாகப் பரப்பப்படும். ஒரு குறிப்பிட்ட நொடியில் ஏற்பியானது அப்போது வெளிச் செலுத்தப்படும் அலையின் அதிர்வெண்ணைத் தவிர ஏனைய எல்லா அதிர்வெண்களிலுமான சைகைகளை ஏற்கக் கூடியதாய் இருக்கிறது. எடுத்துக்காட்டாக, பரப்பியானது நெ. 6 அதிர்வெண் அலையைப் பரப்பிக் கொண்டிருக்கும் போது, ஏற்பியானது இரண்டாம் கால இடை வெளியில் பரப்பப்பட்ட நெ. 2 அதிர்வெண் சைகையை ஏற்கின்றதெனக் கொள்வோம். இதிலிருந்து இந்த நெ. 2 அதிர்வெண் சைகையானது தனது பாதையில் சென்று திரும்பி வர மொத்தம் நான்கு கால இடைவெளிகள் ஆகியுள்ளன என்பதைக் கணக்கிடுவது கடினமல்ல. மின்காந்த அலைகளின் வேகத்தையும் (இது ஒளியின் வேகத்திற்குச் சமமாகும்) கால இடைவெளியையும் கொண்டு, அலைகள் சென்று வந்த தொலைவை நாம் கணக்கிடலாம். இத்தொலைவை இரண்டால் வகுத்தால், இலக்கின் தொலைவு தெரிந்து விடும். இவ்வகையான ரேடார்கள் நிலை

யான இலக்குகளையும் நகரும் இலக்குகளையும் கண்டறியக் கூடியவை. ஆயினும் நகரும் இலக்குகளைப் பொறுத்த மட்டில் டாப்ளர் விளைவுக்கான திருத்தத்தைச் செய்து கொள்வது அவசியமாகும். (இதன் நுணுக்கங்களை இங்கே நாம் கவனிக்க வேண்டியதில்லை).

ஏராளமான ரேடார்கள் பயன்படுத்தப்படுகின்றன. மிகப் பல்வேறுபட்ட பணிகளைப் புரிந்து வரும் இவை பலவிதமான ஏற்பாடுகளையும் கொண்டவை ஆகும். ஆயினும் இவை யாவும் மேற்கூறிய இரு வகைகளினுள் அடங்குவனவாகும்.

அடுத்து வரும் அத்தியாயங்கள் குறித்து இங்கே சில விவரங்களைக் கூறலாம். முதல் பாகம் பல்வகையான ரேடார்கள் எங்கு, எப்படிப் பயன்படுத்தப்படுகின்றன என்பதை விளக்கும். இரண்டாம் பாகம் தற்கால ரேடாரானது எப்படிச் செயல்படுகின்றதென்பதை மேலும் விரிவாக விளக்கும். இதற்கு முன்பு இப்போது எப்படி ரேடார் இராணுவத் துறையில் பயன்படுத்தப்படலாயிற்று என்பதைக் காண்போம்.

ரேடாரின் படைத் துறைப் பிரவேசம்

ரேடாரானது விஞ்ஞானக் குடும்பத்தில் பிறந்து சமாதான ஆர்வங் கொண்ட விஞ்ஞான ஊழியர்களிடையே தனது பிள்ளைப் பிராயத்தைச் கழித்தது.

கப்பல்களிலிருந்து எதிரடிக்கப்படும் ரேடியோ அலை கள் குறித்து அ. பப்போவ் நடத்திய அந்த ஆரம் பக் கால சோதனைகள் எவ்வகையிலும் போருடன் சம்பந்தப்பட்டவை அல்ல. இராணுவத்தினர் அந்தக் காலத்தில் ரேடாரில் அக்கறை இல்லாதோராகவே இருந்ததாகத் தெரிகிறது. எப்படியும் இதற்கு மாரு கக் கூறும் ஆதாரங்கள் எவையும் இல்லை.

ரேடாரின் முதலாவது முன்னேடியான அயனி மண்டல ஆய்வு நிலையம் சோவியத் நாட்டில் **1931ல்** எம். போன்ச் புருயேவிச்சின் தலைமையில் அமைக்கப் பட்டது. முற்றிலும் சமாதான வழிப்பட்ட விஞ் ஞான ஆய்வு நிலையமாக இது செயல்பட்டது. பூமி யின் வளி மண்டலத்தின் மேற்பகுதியான அயனி மண்டலத்தை ஆராய்வதற்காக விஞ்ஞானிகள் இந் நிலையத்தைப் பயன்படுத்தி விஞ்ஞானமும் மனித குலமும் நலம் பெறுவதற்காகப் பாடுபட்டனர். விஞ் ஞானிகள் இவ்விதம் தமது ஆய்வுக் கூடங்களில் அமை தியாகப் பணி புரிந்து வந்த நேரத்தில் உலகின் மிகப் பெரும் போர்ப் படைகளில் தொழில்நுட்பப் புரட்சி ஒன்று ஆரம்பித்தது. அமைதியாகப் பணி புரிந்து விஞ்ஞானிகள் சாதிப்பவை போரில் வெற்றி பெறு வதற்குத் துணை புரியக் கூடியவை, சில சமயம் பெரும் போர்களின் முடிவையே தீர்மானிக்கக் கூடியவை என்பது புலப்பட ஆரம்பித்தது. ஏனைய விஞ்ஞான, தொழில்நுட்பக் கண்டுபிடிப்புகளுடன்கூட ரேடா ரும் உடனே இராணுவத் துறையில் முழு முனைப்பு டன் ஈடுபடுத்தப்பட்டது. ரேடாரை முற்றிலும் இராணுவத்துக்கே உரியதாகப் பயன்படுத்தினுல்

பெரிய ஆதாயங்கள் கிடைக்குமென்று இராணுவத்தினர் ரேடாரை அனேகமாய் முழு அளவுக்கும் தமக்கே உரியதாகத் தம் கைக்குள் இருத்திக் கொண்டனர்.

எதிரி நம் கண்ணுக்குத் தெரிய வேண்டும், எதிரியின் கண்ணுக்கு நாம் தெரியக் கூடாது என்பதுதான் தொன்றுதொட்டு இராணுவத்தினரது கனவாய் இருந்து வந்துள்ளது. ரேடாரின் மூலம் இக்கனவு பெருமளவுக்கு நனவாகி விடக் கூடியது—ஆனால் எதிரியின் கைக்கு ரேடார் கிடைக்காமல் இருக்க வேண்டும். ஆகவே ரேடாரைப் பற்றிய எல்லாத் தகவலும் பரம இரகசியமாகப் பாதுகாக்கப்பட்டதில் வியப்பில்லை. இங்கிலாந்தில் ரேடாரானது ''முதற் பெரும் இரகசிய ஆயுதமாகக்'' கருதப்பட்டது. அமெரிக்க ஐக்கிய நாட்டில் ரேடாரைப் பற்றிய எந்த ஆவணமும் ''படித்தபின் எரிக்கவும்'' என்னும் குறிப்பினைத் தாங்கியிருந்தது. நல்ல வேளை ''படிக்குமுன் எரிக்கவும்'' என்று குறிக்கப்படவில்லை—இரகசியத்திற்கு இது முழுப் பாதுகாப்பு அளித்திருக்கும் என்றாலும் முன்னேற்றத்திற்கு வழி இல்லாதபடி தடுத்திருக்கும். ஆயினும் இந்தக் கடுமையான நடவடிக்கைகளையும் மீறி ரேடாரானது தொழில் வளர்ச்சி பெற்ற எல்லா நாடுகளிலும் ஏறத்தாழச் சமமான வேகத்தில் முன்னேற்றம் கண்டு வந்தது. வெவ்வேறு நாடுகளையும் சேர்ந்த விஞ்ஞானிகளும், தொழில்நுட்ப வல்லுநர்களும் ஏறத்தாழ ஒரே நேரத்தில் ஒத்த விதமான கண்டுபிடிப்புகளை நிலைநாட்டினர், ஒத்த தொழில்நுட்பக் கருத்துக்களையும் வளர்ச்சி

களையும் வகுத்தளித்தனர். 1930 ஆம் ஆண்டுகளின் பிற்பகுதியில் சோவியத் நாடு, அமெரிக்கா, இங்கிலாந்து, ஜெர்மனி, பிரான்சு ஆகிய நாடுகளில் ரேடார் நிலையங்கள் தோன்றத் தலைப்பட்டன. எனவே ரேடாரை யாரும் தமது தனி உரிமையாகப் பயன் படுத்துவது முடியாத காரியமாகியது. நிலத்திலும் கடலிலும் காற்றிலும் மட்டுமின்றி இனி விண்வெளி ஊடகத்திலும் போரிட வேண்டிய நிலை உண்டாயிற்று. இந்தப் போரில் வெற்றி அவ்வளவாக ரேடார் படை வரிசைகளின் எண்ணிக்கையை அல்ல, நாட்டின் உட் பகுதிகளில் செயல்படும் பொறியாளர்களின் தகுதிகளையும், செயல் திறனையுமே பொறுத்திருக்கும்.

இவ்வாறாக ரேடாரானது இராணுவத்துக்குச் சேவை புரிய முற்பட்டது. ரேடாருக்கு இதனால் நன்மையே ஏற்பட்டது. இராணுவத்திடமிருந்து முழு ஆதரவு கிடைத்தது, புதிய கண்டுபிடிப்புகளுக்கு ஆக்கமும் ஊக்கமும் அளிக்கப்பட்டன, படைத் துறையில் பலரும் ரேடாரில் ஆர்வங் கொண்டவர்கள். முன்னிலும் பெரிய அளவிலும் மிகுந்த வேகத்திலும் வேலைகள் நடந்தேறின.

இராணுவத்துக்கு ரேடாரினால் என்ன கைம்மாறு செய்ய இயலும்? இதற்கு விடை கூற வேண்டுமாயின், தற்போது இராணுவத்தில் எங்கு, எப்படி ரேடாரானது பயன்படுத்தப்படுகிறது என்பதைச் சொல்லியாக வேண்டும். புத்தகத்தின் ஆசிரியர் இதை எழுதியதும் ஆலோசனை செய்து பார்த்தார். எளிதில் நடைபெறும் காரியமல்ல இது. ரேடாரைப் பற்றிய தகவல்களைப் பத்திரிகைக்காரர்களுடன் பகிர்ந்து

கொள்ள இராணுவம் முன்வருவதில்லை. இராணுவத்தில் உள்ள ரேடாரைப் பற்றிச் செய்தியேடுகளில் செய்திகளோ கட்டுரைகளோ வெளிவருவது அரிதினும் அரிது. அப்படி எப்போதாவது வெளிவரினும் அது மிகவும் பொதுப்பட அமைந்த விவரங்களாகவே இருக்கிறது, அல்லது சிற்சில கம்பெனிகளின் சரக்குகளைப் பிரபலமாக்கும் வியாபார நோக்கோடு விளம்பரத்திற்காக வெளியிடப்பட்டதாகத்தான் இருக்கிறதே ஒழிய எதார்த்த உண்மை விவரங்கள் அதிகம் அடங்கியதாய் இல்லை.

ரேடாரானது எவ்வாறு சாதாரண வாழ்க்கையில், விமானப் போக்குவரத்திலும், இரயில்களிலும், வாணிபக் கப்பல்களிலும் பயன்படுத்தப் படுகின்றது என்பதை விளக்குவது கடினமல்ல. இராணுவ ரேடார்களைப் போல் ஏறத்தாழ அதே அடிப்படையில்தான் சிவில் துறை ரேடார்களும் செயல்படுகின்றன. எனவே விமானப்படை ரேடாரை விளக்க சிவில் விமான ரேடாரையும், கப்பல் படை ரேடாரை விளக்க வாணிபக் கப்பல் ரேடாரையும் இங்கு நாம் எடுத்துரைக்கிறோம்.

எனினும் தற்போதைய நிலையில் மற்றெல்லாத் துறைகளையும் விட, இராணுவத்தில்தான் ரேடாரானது பெருமளவில் பயன்படுத்தப்படுகிறது. ஆதலால் தான் நாம் ரேடாரை விமானப் படை, ஏவுகணைப் படை (missile troops), கப்பல் படை, சேனை போன்ற துறைகளில் எதனைச் சேர்ந்தது என்பதன் அடிப்படையில் இங்கு வகை பிரித்துக் காட்டுகிறோம்.

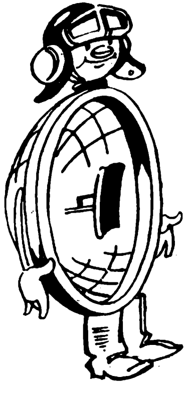
இராணுவத்தில் முதன் முதலில் எதிரியின் ஆகாய விமானங்கள் நெருங்கி வருவதை முன்னறிந்து தெரிவிப்பதற்காக ரேடார் நிலையங்கள் பயன்படுத்தப்பட்டன. விமானத் தாக்குதலிலிருந்து பாதுகாப்பு பெறுவதற்கான ஏற்பாட்டிற்கு ரேடார் நிலையங்கள் உதவி புரிந்தன. இதனால்தான் மற்றெல்லாப் பிரிவினரையும் விட விமானப்படையினரிடம் ரேடார் சாதனங்கள் அதிகமாய் இருந்து வந்தன. ஏவுகணைப் படைகள் நிறுவப்பட்டதும், ரேடார் சாதனங்களில் இவை ஏனைய எல்லாப் பிரிவுகளையும் விடத் தலைமையான நிலையைப் பெற்றுக் கொண்டன. நெடுநாட்களுக்கு இவை தலைமை நிலையில் இருக்கும் என்பதாகத் தெரிகிறது. எனினும் வரலாற்றுக் காலக்கிரமத்தை அனுசரித்து விமானப் படையிலும், பொதுவாக விமானப் போக்குவரத்திலும் ரேடார் ஆற்றும் பணியினை முதலில் கவனிப்போம்.

விமானப் போக்குவரத்தில் ரேடார்

வானிலை ஆய்வாளர்களை விமானிகள் எப்போதுமே வழிப்பாட்டுக்குரிய தெய்வங்களாகப் போற்றி வந்துள்ளனர். ஆகவே இன்றைய வானிலை ஆய்வாளர்கள் பயன்படுத்தும் வானிலை ரேடாரைப் பற்றி முதலில் தெரிந்து கொள்வது நல்லது. வானிலை ரேடாரானது மேகத் திரள்கள், இன்னும் முக்கியமாய்ப் புயல் முனைகள் ஆகியவற்றின் இடநிலையைக் கண்டறிகிறது; மழை, பனி முதலானவற்றின் விகித

அளவுகளை நிர்ணயிக்கிறது; சூறுவளிகளும் புயல்களும் தோன்றும் இடங்களையும் அவை பரவக் கூடிய பாதைகளையும் இடையறுது கவனித்து வருகிறது. இவ்வாறு சேகரிக்கப்படும் தகவல்களைக் கொண்டு வானிலை அறிவிப்புகள் தயாரிக்கப்பட்டு, விமான நிலையங்களுக்கும், விமானப் போக்குவரத்துக் கண் காணிப்பு மையங்களுக்கும் உடனுக்குடன் அனுப் பப்படுகின்றன.

வானத்தில் பறக்கும் ரேடார்களைக் கொண்டு தகவல்களைச் சேகரிப்பதற்கான ஒரு திட்டம் அமெரிக்காவில் அண்மை ஆண்டுகளில் முன்வைக்கப்பட்டிருக்கிறது. இருபத்து இரண்டு விமானங்கள் ரேடார்களைச் சுமந்து கொண்டு பறந்து இடையறுது வானிலை விவரங்களைச் சேகரித்து கணிப்பு மையத்துக்கு அனுப்பி வருமாயின் பூமியின் எவ்விடத்திலுமான வானிலையை அறிவிக்க முடியுமென அமெரிக்க வல்லுநர்கள் கூறுகிருர்கள்.



தற்கால இராணுவ விமான நிலையத்தை எடுத்துக் கொண்டால் விமானங்கள் இறங்கவும், புறப்பட்டுச் செல்லவும் குறைந்தது ஒரு விமான ஓடுபாதையாவது அதில் இருக்கும். போக்குவரத்து நெரிசலைக் குறைக்கப் போக்குவரத்துக் கட்டுப்பாடு ரேடாரைப் பயன்படுத்த வேண்டியிருக்கிறது. பொதுவாக இவ்வகையான ரேடார் கணிப்புப் பொறியுடன் (computer) இணைந்து செயல்பட்டு, விமானங்கள் இறங்குவதற்கும் புறப்படுவதற்கும் அனுமதியளிக்கிறது. அனுமதியளிப்பதற்கு முன்பு ரேடார் கணிப்புப்பொறியமைவானது விமானம் பறப்படுவதற்கு எடுத்துக்கொள்ளும் நேரம், எந்த விமானம் முதலில் செல்லவேண்டும் அல்லது இறங்க வேண்டும் என்பது பற்றிய கிரமம், ஓடுபாதையில் இருக்கும் விமானங்கள், இன்ன பிற விவரங்களைக் கணக்கில் எடுத்துக் கொள்கிறது. இவ்வகையான விமான நிலையக் கண்காணிப்பு ரேடார் ஒன்று குறிப்பிட்ட விமான ஓடுபாதையையும் ஊர்தி வழிகளையும் கண்காணித்து, ஒரு மணி நேரத்தில் எண்பது விமானங்கள் வரை இறங்கவோ, புறப்பட்டுச் செல்லவோ தக்கபடி ஒழுங்கமைக்க வல்லதாகும். ரேடார் இல்லாமல் இந்த வேலையைச் சமாளிக்க இயலாது என்பது கண்கூடு.

சோவியத் நாட்டில் "UTES" என்னும் ரேடார் அமைப்பு இப்பணியைச் செய்து முடிக்கின்றது. இந்த அமைப்பு, பல நூறு கிலோமீட்டருக்கு அப்பால் ஆயிரக் கணக்கான மீட்டர் உயரத்தில் வரும் ஒரு விமானத்தைக் கண்டறிந்து, அதைத் தொடர்ந்து

பின்பற்றி விமான நிலையத்தை அது வந்தடையும் வரை கண்காணிக்கின்றது. விமானம் கண்டறியப் பட்டதும் ஒருசில விஞடிகளுக்குள் விமானத்தை அடையாளம் தெரிந்து கொள்கிறது; விமானத்தின் திசையில் கோணத்தையும் (azimuth) குத்துயரத்தையும் கணிப்பதுடன், அதனிடம் மீதமுள்ள எரிபொருளின் அளவையும் கணக்கிட்டு விடுகின்றது. இந்த "UTES" அமைப்பு முதன் முதல் மாஸ்கோ சுற்றுவட்டாரத் தில் விமானப் போக்குவரத்துக் கண்காணிப்புப் பணி யில் செயல்பட ஆரம்பித்தது. இது நாள் வரை இதன் சேவை பிழையற்றதாய் மிகவும் துல்லிதமாகவும் நம்பகமாகவும் இருந்து வருகிறது.

இவ்வகையான ரேடார் அமைப்பிஞல், ஒரே சமயத்தில் இருநூறு விமான ஓடுபாதைகளைக் கண் காணிக்க இயலும். எடுத்துக்காட்டாக இவ்வகை யான ரேடார் அமைப்பு பிரஸ்ஸல்ஸ் நகரில் இருக்கு மாயின், மேற்கு ஐரோப்பாவிலுள்ள பெரிய விமான நிலையங்களில் அனேகமாய் யாவற்றையும் இதைக் கொண்டு கண்காணித்து விடலாம். இவ்வகையான அமைப்பில் விமான நிலையத்தை நோக்கி வரும் விமா னங்களிலிருந்து வரப்பெறும் சைகைகள் கணிப்பு மையத்திற்கு அனுப்பப்படுகின்றன. கணிப்பு மையம் அந்த விமானங்களை அடையாளம் கண்டு, அவை வரும் பாதைகளைத் தனது நினைவில் சேகரித்து வைக்கப் பட்டுள்ள முறையான பாதைகளுடன் ஒப்பிட்டுப் பார்க்கிறது. எந்த விமானமாவது அதற்குரிய முறை யான பாதையிலிருந்து விலகிச்செல்லுமாயின், அல் லது அங்கீகாரம் பெருத விமானம் காற்று வெளியில்

குறுக்கிடுமாயின் உடனே இவ்வமைப்பு இது பற்றி எச்சரிக்கை விடுக்கும்.

இம்மாதிரியான அமைப்புகள் பறந்து கொண்டிருக்கும் விமானங்களையும், விமான நிலையத்தை நோக்கி வந்து கொண்டிருக்கும் விமானங்களையும் கண்டறிந்து அவற்றுக்கு உதவி புரியும். நிலையத்தில் விமானங்கள் இறங்கும் போது PAR எனப்படும் துல்லிய அணுகுவழி ரேடார் (precision-approach radar) அவற்றுக்கு உதவி புரிகிறது. இவ்வித ரேடார் வகையில் ஒன்று ஒருங்கே இரண்டு ரேடியோ அலைக் கற்றைகளைப் பயன்படுத்துகிறது. விமானத்தை ஓடுபாதையின் மையக்கோட்டை வந்தடையும்படி வழி காட்டுவதற்கு ஒரு கற்றை பயன்படுகிறது, இதற்குரிய உத்தம விளைவுச் சரிவில் (optimum glide path) விமானத்தை இறங்கி வரச் செய்வதற்காக இரண்டாவது கற்றை பயன்படுகிறது. ஒவ்வொரு கற்றையும் விமான நிலையப் போக்குவரத்து அலுவலரின் முன்னுள்ள அதற்குரிய ரேடார்த் திரையில் ஒரு ஒளிப் புள்ளியைத் தோற்றுவிக்கிறது. இத்திரைகளைக் கவனித்து வரும் அலுவலர் சரியான தலைப் பாதையிலிருந்தோ, விளைவுச் சரிவிலிருந்தோ விமானம் விலகுவதை உடனே தெரிந்து கொண்டு, விமானிக்கு அறிவித்து உரிய பாதைக்குத் திரும்பும்படிச் செய்கிறார். போக்குவரத்து அலுவலர், விமானி ஆகிய இருவருக்கும் பதில் கணிப்புப் பொறியைக் கொண்டு இவ்வேலைகள் நடந்தேறும்படி ஏற்பாடு செய்யலாம். கணிப்புப் பொறி, விமானம் விலகிச் செல்வதை உடனே கண்டு கொண்டு விமானத்தைச் சரியான

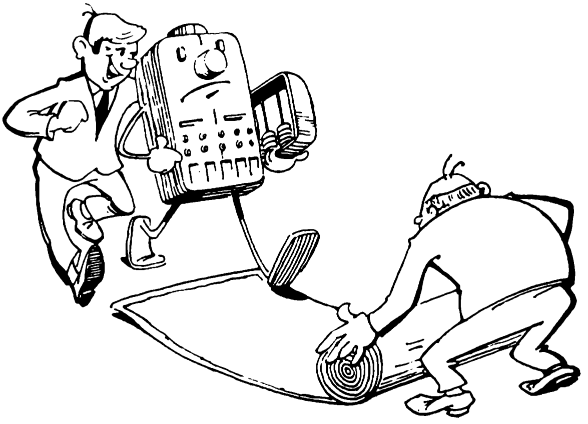
பாதைக்கு வருமாறு செய்யும். இந்த அமைப்புக்குத் தானியங்கித் தரைக் கட்டுப்பாட்டு அணுகுவழி ரேடார் அமைப்பு (ground-controlled approach அல்லது GCA) என்று பெயர். எவ்விதமான வானிலையிலும், கண் தெரியாத மோசமான சூழ்நிலையிலும் விமானங்கள் அபாயமின்றித் தரை இறங்குவதற்கு இவ்வமைப்பு வகை செய்கிறது. எந்த விதமான வானிலையிலும் ஓயாமல் செயல்படும் போர் விமானங்களும் இம்மாதிரியான தானியங்கித் தரைக் கட்டுப்பாட்டு ரேடார் அமைப்பின் உதவி இல்லாமல் இயங்க முடியாது.

படைத் துறையில் முதன் முதலாகப் பயன்படுத்தப்பட்ட ரேடார் முன் எச்சரிப்பு ரேடார் (early-warning radar) ஆகும். முன் எச்சரிப்பு ரேடார் அமைப்பு வலிமை வாய்ந்த அலைப் பரப்பிகளையும் மிகப் பெரிய ஏரியல்களையும் கொண்டதாகும். முன்னிலைப் படை நிலைகளில் இவ்வகை ரேடார்கள் அமைக்கப்பட்டிருக்கும், ஆதலால் எதிரி விமானங்கள் தொலைவில் வரும்போதே அவற்றின் வருகையை இவை தெரிவிக்கின்றன. இவ்வாறு இயங்கும் முன் எச்சரிப்பு ரேடாரானது விமானப் போக்குவரத்துக் கட்டுப்பாட்டு ரேடாரைப் போல் ஏறத்தாழ அதே அடிப்படையில்தான் செயல்படுகிறது. ஆனால் இதனுடைய குறிக்கோள் முற்றிலும் மாறுனது. விமானப் போக்குவரத்துக் கட்டுப்பாட்டு ரேடார் விமானங்கள் அபாயமின்றி பறக்கவும் முடிந்த அளவுக்கு அதிகமான விமானங்கள் நல்லபடி அவ்வப்போது தரை இறங்கவும் உதவுகிறது. ஆனால் முன் எச்சரிப்பு ரேடா

ரின் பணி, முடிந்த அளவுக்கு அதிகமான அளவில் பகை விமானங்களைக் கண்டறிந்து அவற்றை ஒழித்திட உதவுவதாகும்.

இரண்டாம் உலகப் போரின் போது, பகை விமானங்கள் அண்மையில் வந்த பின்புதான் முன் எச்சரிக்கை ரேடார்களால் கண்டறிய முடிந்தது. இதனால் நேச விமானங்களுக்குப் பகை விமானங்களைத் தடுத்து நிறுத்தச் சொற்ப அவகாசமே கிடைத்தது. ஆனால் இன்றுள்ள முன் எசச்ரிப்பு ரேடார்கள், பகை விமானங்கள் தொலைவில் இருக்கும் போதே கண்டறிந்து கொள்ளக் கூடியவை. பகை விமானங்களது திடீர் தாக்குதல் இந்நிலைமைகளில் வெற்றி பெறுவது அரிதாகும்.

பகை விமானங்கள் பாதுகாப்பு எல்லையை நெருங்கும் போதே முன் எச்சரிக்கை ரேடார் அவற்றைக் கண்டறிந்து போர் விமானக் கட்டுப்பாட்டு ரேடாரைச் செயல்பட வைக்கிறது. இதற்குள் நேசப் போர் விமானங்கள் விண்ணோக்கி எழுந்து பறக்க ஆரம்பித்துவிடும். ரேடார்த் திரையில் பார்த்து நேச விமானங்களும் பகை விமானங்களும் இருக்கும் இடங்களைக் கண்டறிந்து போர் விமானக் கட்டுப்பாட்டு அதிகாரி, போர் விமானங்கள் செல்ல வேண்டிய சரியான பாதை, வேகம், குத்துயரம் ஆகியவற்றைப் போர் விமானிகளுக்குத் தெரிவிக்கிறார். இரண்டாம் உலகப் போரின் போது போர் விமானக் கட்டுப்பாட்டு அதிகாரி நேரில் கண் கொண்டு விமானப் போரைக் கண்ணுற்றுத் தமது போர் விமானிகளுக்குக் கட்டளையிட அவகாசம் இருந்தது. ஆனால் இன்றைய போர்



விமானங்கள் ஒலியை விட அதிவேகமாகச் செல்லக் கூடியவை. ஆகவே நிலைமை மிகவும் சிக்கலானது, சடுதியில் மாறும்படியானது. ரேடாரின் உதவியின்றி கட்டுப்பாட்டு அதிகாரியால் இந்நிலைமையில் செயல் பட முடியாது.

போர் விமானக் கட்டுப்பாட்டு ரேடாரானது முன் எச்சரிப்பு ரேடாரை விட குறைந்த தொலைவுக்கே செயல்பட முடியும். ஆனால் இது விமானத்தின் இடநிலையைத் துல்லிதமாகக் கணக்கிடக் கூடியது. போர் விமானங்களை அவற்றின் இலக்கை நோக்கிச் செலுத்த இந்தத் துல்லியம் அவசியமாகும். போர் விமானங்களிலுள்ள ரேடாரின் செயல் தொலைவுக்குள் இலக்கு வந்து சேர்ந்ததும், இந்த ரேடாரின் துணை கொண்டு போர் விமானிகள் செயல்படுகிறார்கள்.

போர் விமானம் இந்த அளவுக்கு இலக்கை நெருங்கிவிடும் போது, தரையில் அமைந்த போர் விமானக் கட்டுப்பாட்டு ரேடாரின் திரையில் இரண்டு ஒளிப் புள்ளிகளும் அனேகமாய் இணைந்து விடுகின்றன. இதற்கு மேல் தரை ரேடாரால் தனது பணியைச் சரிவரச் செய்ய இயலாது. எனவேதான் போர் விமானத்திலேயே ஒரு ரேடார் இருப்பது இன்றியமையாதது ஆகின்றது.

போர் விமானத்திலுள்ள ரேடாரின் ரேடியோ அலையானது இலக்கினைத் திரையிலே தெரியச் செய்ததும், இவ்விமானம் தனது சொந்த முயற்சியின் பேரில் இலக்கை அணுகித் தாக்க முடியும். இலக்கின் தொலைவு, குத்துயரம் போன்ற முக்கிய விவரங்கள் விமானத்திலுள்ள ரேடார் திரையிலே தெரிகின்றன. ஆகவே இலக்கினை விமானி நேரில் கண்ணுல் பார்க்காமலே அதனைத் தாக்க முடிகிறது. அவர் செய்ய வேண்டியதெல்லாம், சுடுவதற்கான பொத்தானைத் தக்க தருணத்தில் அழுத்த வேண்டியதுதான். சில நேரங்களில் இந்த வேலையையுங்கூடக் கணிப்புப் பொறியே செய்து விடுகின்றது. ஆனுல் விமானப் போரில் விமானிக்கு வேலை ஏதும் இல்லை என்று நினைக்கலாகாது. மெய்யான போரில் இங்கு நாம் கூறியது போல் யாவும் இவ்வளவு எளிதாய் நடந்தேறி விடுவதில்லை.

படை விமானம் பின்புறத்திலிருந்து தாக்கப்படுகையில் அதன் நிலைமை மிகவும் ஆபத்தானது என்பது தெரிந்ததே. வால் பக்கத்துத் தாக்குதலிலிருந்து விமானம் தப்புவது மிகக் கடினம். இதனுல்தான்

விமானத்தின் வால் பக்கத்துக்குப் பாதுகாப்பு அளிக்கப் பல ஏற்பாடுகளும் செய்யப்பட்டுள்ளன. வால் பக்க எச்சரிப்பு ரேடார் (tail-warning radar) இவற்றில் ஒன்ருகும். வால் பக்கத்தில் சுடும் தொலேவுக்கு நெருங்கி வரும் பகை விமானங்களேக் கண்டறிந்து இந்த ரேடார் எச்சரிக்கிறது. இதே ரேடாரைச் சில சமயம் வால் காப்பு அமைப்புக்கான தானியங்கிக் குறி பார்க்கும் ரேடார் கண்ணுகவும் செயல்படும்படிச் செய்வது உண்டு. வால் பக்க எச்சரிப்பு ரேடார் கண்ணுடன் கூடிய குண்டு விமானத்தைப் பகைப் போர் விமானம் பின்புறத்திலிருந்து தாக்க வருமானுல், உடனே இவ்வமைப்பு செயல்பட்டுப் பகை விமானத்தின் மீது சுடுகின்றன. தாக்க வரும் பகை விமானம் இவ்விதம் தாக்குதலுக்கு உள்ளாக்கப்படுகிறது.

குண்டு விமானங்களில் பொருத்தப்படும் மற்ருெரு ரேடார் சாதனத்தின் பெயர் சுற்றிலும் நோட்டமிடும் ரேடார் (all-round looking search radar). விமானம் பறந்து கொண்டிருக்கும் நிலப் பரப்பின் மேல் உள்ள எல்லாப் பகுதிகளேயும் அவற்றில் உள்ள எல்லாப் பொருட்களேயும் இந்த ரேடார் வரிக் கண்ணேட்டம் (scan) இட்டுப் படம் பிடிக்கிறது. வனங்கள், வயல்கள், ஆறுகள், கட்டிடங்கள் ஆகியவை ஒவ்வொன்றும் ரேடியோ அலேயை வெவ்வேறு விதத்தில் எதிரடிக்கிறது. ஆகவே இவை வெவ்வேறு விதமாய் ரேடார் திரையில் தெரிகின்றன. திரையானது கறுப்பும் வெள்ளேயுமான நிழற்படம் அல்லது திட்டவரை போன்றதாகிறது. திட்டவரை-இடநிலேச் சுட்டி என்று இதைக் குறிப்பிடுகிருர்கள். இர

யில் பாதைகள், பாலங்கள், கட்டிடங்கள் போன்ற உலோக அமைப்புகள் மிகத் தெளிவாகத் தெரிகின்றன. இத்தகைய நிலப் படத்தின் துணை கொண்டு, விமானி தனது விமானத்தைச் சரியான பாதையில் செலுத்துவதோடல்லாமல், தாக்குவதற்கு நல்லதோர் இலக்கையும் தேர்ந்தெடுத்துக் கொள்கிறார். விமானத்தின் குத்துயரம், வேகம் ஆகியவற்றைக் கணக்கில் எடுத்து, குண்டு விடப்பட வேண்டிய தருணத்தை விமானத்தில் உள்ள கணிப்புப் பொறி கணித்து ரேடார் திரையில் தக்கதொரு குறியை இட்டுக் காட்டுகிறது. இலக்கிலிருந்து வரும் எதிரொலிச் சைகை இந்தக் குறியுடன் இணையும் போது குண்டு கீழே விடப்பட்டுப் பகை இலக்கு தாக்கப்படுகிறது.

ரோடார்கள் பொருத்தப்பட்ட டுரோன்கள் (drones) எனப்படும் வேவு விமானங்களைப் பற்றிப் பத்திரிகைகளில் படித்திருக்கின்றோம். தரையிலுள்ள ஒரு ரேடார் இந்த வேவு விமானங்களைத் தன் பார்வையில் கொண்டுள்ளது, தேவைக்கு ஏற்ப அவற்றைத் தக்க பாதைகளில் செல்ல வைக்கிறது. இந்த டுரோன் வேவு விமானத்தில் சுற்றிலும் நோட்டமிடும் ரேடார் பொருத்தப்பட்டுள்ளது. ஆனால் இதில் விமானி இல்லை, ரேடார்த் திரையும் இல்லை. விமானத்திலுள்ள வலிமை வாய்ந்த அலைப் பரப்பி எதிரொலிச் சைகைகளை நேசத் துருப்புகளுக்கு அஞ்சல் (relay) செய்கின்றது. கீழே தரைக்கடியில் காப்பிடத்தில் அமர்ந்துள்ள ஊழியர் அந்த டுரோன் விமானத்துக்குக் கீழுள்ள நிலத்தின் படத்தைப் பார்க்கிறார்,

இவ்விதம் இவர் பகைவனைப் பற்றிய கடைசித் தகவல்களைத் தெரிந்து கொள்கிறார்.

போரின் போது நேசத் துருப்புக்களாலேயே தவறுதலாய்த் தாக்கப்படும் அபாயம் எப்போதும் உண்டு. இதைத் தவிர்ப்பதற்காக, பகை விமானங்கள், டாங்கிகள், பிற போர் வாகனங்கள் ஆகியவற்றின் நிழல் உருவைக் கொண்டு அடையாளம் தெரிந்து கொள்வதற்குப் படையாட்களுக்குப் பயிற்சி அளிக்கப்படுகின்றது.

ஆனால் ரேடார்த் திரையில் விமானத்தின் நிழல் உரு தெரிவதில்லை. அப்படியானால் பகை விமானமா, இல்லையா என்று தெரிந்து கொள்வது எப்படி? ஒவ்வொரு விமானத்திலும் ''அடையாளம்—நண்பனா, பகைவனா'' (identification, friend or foe அல்லது IFF) என்ற சாதனம் பொருத்தப்பட்டுள்ளது· அலை ஏற்பியையும் பரப்பியையும் கொண்டது இது. இந்த ஏற்பியானது நேச ரேடார் அனுப்பும் வினவும் மின்துடிப்பு வரப் பெற்றதும் IFF பரப்பியைச் செயல்பட வைக்கிறது; இந்தப் பரப்பி உடனே இந்த விமானத்தின் அடையாளத்தைத் தெரிவிக்கும் அடையாளச் சைகையை அனுப்பிப் பதிலளிக்கிறது. நேச ரேடாரின் திரையில் இலக்கின் எதிரொலிச் சைகைக்குப் பக்கத்தில், ''நான் நண்பன்தான்'' என்று கூறுவது போல இந்த IFF சைகை தெரிகிறது. பகைவனும் இதே அதிர்வெண்ணில் IFF சைகை அனுப்பித் தப்பித்துக் கொண்டு விடாதவாறு' தடுப்பதற்காக, IFF சைகை இரகசிய சங்கேத வடிவில் அனுப்பப்படுகிறது. தரையிலுள்ள ஏற்பி இந்தச் சங்கேதக்

குறியை மட்டும் ஏற்கும்படிச் சுரப்படுத்தப்பட்டிருக்கிறது. எனவே பகைவனது சைகையை இந்த ஏற்பி ஏற்காதாகையால் திரையில் IFF சைகை தெரியாது. தரையில் இருக்கும் ஊழியர் திரையிலே தெரியும் எதிரொலிச் சைகை காட்டுவது பகை விமானத்தினுடையதா என்பதைத் தெரிந்து கொண்டுவிடுவார்.

மேலே விவரிக்கப்பட்ட எல்லா வகை ரேடார்களும், அமெரிக்க ஐக்கிய நாட்டின் தேசிய விமானப் போக்குவரத்துக் கட்டுப்பாட்டு அமைப்பில் பயன்படுத்தப்படுகின்றன. இந்த அமைப்பில் கிட்டத்தட்ட 120 ரேடார்கள் விமான நிலையங்களில் செயல்படுகின்றன. விமான நிலையத்தின் வழியே செல்லும் அல்லது நிலையத்தை நெருங்கி வரும் விமானங்களை இவை கண்காணிக்கின்றன, புறப்பட்டுச் செல்வதையும் தரை இறங்குவதையும் கட்டுப்பாடு செய்கின்றன. மற்றும் கிட்டத்தட்ட 21 மண்டலங்களுக்குச் சேவை புரியும் வழித் துணை ரேடார்களது வலைப்பின்னலும் இவ்வமைப்பில் அடங்கியுள்ளது. இந்த வழித் துணை ரேடார் சுமார் 300 கி.மீ. தொலைவிற்குச் செயல்படக் கூடியது. தவிரவும் ஒவ்வொரு விமான நிலையமும் தனது விமானப் போக்குவரத்துக் கட்டுப்பாட்டுச் சேவைத் துறையைப் பெற்றிருக்கிறது. சுமார் 80 கி.மீ. தொலைவுக்கு இயங்கக் கூடிய விமான நிலையக் கண்காணிப்பு ரேடாரும், வானிலை பற்றி அறிய உதவும் ரேடாரும், நிலையத்தை நோக்கி நெடுந்தொலைவில் வரும் விமானங்களின் தொலைவைச் கணிக்கும் ரேடாரும், வரும் விமானங்கள் எந்த நாடுகளைச் சேர்ந்தவை, அவை வரும் பாதை

யின் குத்துயரம் என்ன என்பனவற்றை வினவி அறி யும் ரேடாரும் இந்தச் சேவைத் துறையில் அடங் கியுள்ளன.

மேலும் மேலும் அதிகரித்து வரும் விமானப் போக்குவரத்தைக் கவனித்துக் கொள்ளும் கட்டுப் பாட்டு அதிகாரிகளுக்குத் தனியாரது சிறு விமானங் கள் பெருங் கவலை தருகிறவை. இவை திட்டமான வழிகளிலோ, நேரங்களிலோ வருகிறவை அல்ல. போதாதற்கு இவற்றின் எதிரொலிச் சைகைகள் மிகவும் மங்கலாகவே ரேடார் திரையில் தெரியக் கூடியவை. கட்டுப்பாட்டு அதிகாரி இவற்றைக் காணத் தவறிவிடலாம். இந்தச் சிக்கலைத் தவிர்ப் பதற்காகத் தனியார் விமானங்களில் கட்டாயம் உலோக எதிரடிப்பான்கள் (reflectors) பொருத் தப்பட வேண்டும் என்று உத்தரவிடப்படுகிறது. இவை இவ்விமானங்களது எதிரொலிச் சைகைகளை அளவிலும் வலுவிலும் ஜெட் விமானங்களிலிருந்து வரும் சைகைகளுக்கு ஒப்பானவை ஆக்குகின்றன. இவ்விதம் விமானப் போக்குவரத்துக் கட்டுப்பாட்டு அதிகாரிகள் இந்த ஆபத்தான இலக்குகளைத் தக்க தருணத்தில் கவனித்துச் செயல்படுவதற்கு வகை செய்யப்படுகிறது.

விமானங்கள் தாம் சேர வேண்டிய இடங்களைச் சென்றடைவதற்கான தமது செல்வழிகள் அல்லது திசைகளை நிர்ணயித்துக் கொள்ள உதவும் ரேடியோ வழிகாட்டிகளையும், மற்றும் ரேடியோ மூலமான பாதை அறிவிப்பு ஏற்பாடுகளையும், பிறவற்றையும் இங்கு குறிப்பிட வேண்டும். இவற்றை நாம் பிற்பாடு பரிசீலிப்போம்.

ரேடாரும் ஏவுகணைகளும்

ஏவுகணைப் படைகள் ஏனைய எல்லாப் படைகளையும் விட மிக அண்மையில்தான் நிறுவப்பட்டன. ஆயினும் ரேடாரைப் பயன்படுத்திக் கொள்வதில் இவை விமானப் படைகளையும் விஞ்சி நெடுந்தொலைவு முன்னிலைக்குச் சென்று விட்டன. ஏவுகணைப் படையினரின் செயல்களில் அனேகமாய் யாவுமே ஏதேனும் ஒருவகையில் ரேடாருடன் தொடர்பு கொண்டவை. எறிவிசை ஏவுகணையை (ballistic missile) எடுத்துக் கொள்வோம். ராக்கெட்டு மோட்டார் செயல்படும் வரைதான ஏவுகணையின் செல்பாதையை நம் விருப்பம் போல் கட்டுப்பாடு செய்ய முடியும். மோட்டார் எரிந்து முடிந்தவுடன் கட்டுப்பாடு செய்ய இயலாது. ஏவுகணையானது ஒரு குறிப்பிட்ட இலக்கைத் தாக்க வேண்டுமாஞல், மோட்டார் எரிந்து ஓயும் தருணத்தில் அது குறிப்பிட்டதொரு திசைவேகத்தையும், திசையையும் பெற்றிருக்க வேண்டும். ஏவுகணைத் தளத்துக்கு அருகில் அமைந்த ரேடார்கள் அதற்குப் பெரிதும் பயன்படுகின்றன. இந்த ரேடார்கள் ஏவுகணையின் செல்பாதையைக் கவனித்து,வேண்டிய பாதையிலிருந்து செல்பாதை விலகுமாயின் உடனே அதற்கென அமைந்த உந்து விசைச் சாதனங்களுக்கு (thrusters) ஏற்ற கட்டளைகளை இட்டு, செல்பாதையைச் சரி செய்கின்றன. இந்த உந்து விசைச் சாதனங்கள் சிறிய இஞ்சின்களாகும். ஆயினும் அவை அளித்திடும் உந்து விசை வேண்டிய திசைவேகத்திலிருந்தும் திசையிலிருந்தும் ஏற்படும்

சிறு பிறழ்வுகளைச் சரிசெய்யப் போதுமானது. ஏவுகணை சரியான திசைவேகத்தோடும் திசையோடும் அதன் செல்பாதையில் குறிப்பிட்ட புள்ளியை அடைந்ததும் ராக்கெட்டு மோட்டாரும் உந்து விசைச் சாதனங்களும் நிறுத்தப்படுகின்றன. இதன் பிறகு ஏவுகணையின் இறுதிக் கட்டம் அதன் எறிவிசைப் பாதையில் செல்லத் தலைப்படுகிறது. ரேடார்கள் அதைக் கவனித்துக் கொண்டுதான் இருக்கின்றன, ஆனால் மோட்டார்கள் நிறுத்தப்பட்டு விட்டதால் இனி ஏவுகணையின் பாதையை அவை கட்டுப்பாடு செய்வதற்கில்லை.

பொதுவாக, ஆதார இலக்குகளைத் தாக்குவதற்கே எறிவிசை ஏவுகணைகள் பயன்படுத்தப் படுகின்றன. இடம் பெயர முடியாத பெரும் தொழிற்சாலைகள், நிர்வாக மையங்கள், பெரும் துறைமுகங்கள், ஏவுகணைத் தளங்கள் போன்ற பிரதான இலக்குகளை நோக்கியே இவை செலுத்தப்படும். செல்பாதையினது இந்த இறுதிக் கட்டத்தில் எறிவிசை ஏவுகணையைக் கட்டுப்பாடு செய்ய இயலாது என்றாலும், அது சரியான செல்வழியில் விடப்பட்டிருக்குமாயின் நிச்சயம் அது உரிய இலக்கை அடைந்து அதைத் தாக்கவே செய்யும்.

விமானத்தைத் தாக்குவதற்கும் பகைவனது ஏவுகணைகளைத் தாக்குவதற்குமான சிறிய ஏவுகணைகளைப் பொறுத்த வரை, நிலைமை இவ்வாறு இல்லை. இவற்றின் இலக்குகள், உயர் வேகத்தில் இடம் பெயருகிறவை. மேலும் தப்பித்துக் கொள்ள இவை பல தந்திர முறைகளைக் கையாளுபவை. எனவே இந்த

ஏவுகணைகளை இவை புறப்படும் தருணத்திலிருந்து இலக்கைத் தாக்கும் தருணம் வரை ரேடார்கள் கவனித்து வர வேண்டும். இந்த ஏவுகணைகளின் செல் பாதைகளைக் கணிப்புப் பொறிகள் கணக்கிட்டு, அவற்றின் போக்கையோ, திசைவேகத்தையோ வேண்டிய போது மாற்றுவதற்கான ஆணைகளை ரேடார் அலைப் பரப்பி மூலம் அனுப்புகின்றன. ரேடாரானது ஏவுகணைகளையும் அவற்றின் இலக்குகளையும் அவற்றின் ஒளிப்புள்ளிகள் திரையில் ஒன்றையொன்று நெருங்கி வந்து இணையும் வரை தொடர்ந்து கவனித்து வருகின்றன. ஏவுகணை, இலக்கு இவை இரண்டுக்குமான ஒளிப் புள்ளிகள் இணைந்து சிறு பொறிகளாகத் தெறிக்கின்றன. இலக்கு அழிக்கப்பட்டு விட்டதை இது குறிக்கிறது.

ரேடாரை விளக்கும் புத்தகத்தில் எதிர்-ஏவுகணைக் கூட்டமைப்பு (anti-missile complex) பற்றிய விளக்கத்தைக் காணலாம். இங்கு ''கூட்டமைப்பு'' என்னும் சொல் தக்க காரணத்துடன்தான் தெரிந்தெடுத்துப் பிரயோகிக்கப்படுகிறது. நவநவீன ரேடார்களை எத்தனை வேண்டுமாயினும் எதிர்-ஏவுகணை பாதுகாப்புக்காகப் பயன்படுத்தலாம். ஆனால் இவை ஒருங்கிணைந்து செயல்படாவிடில் பகை ஏவுகணைகளை அவை அழித்திடுமெனச் சொல்ல முடியாது. ஒரு ரேடாருக்குத் தெரிய வருவது ஏனைய எல்லா ரேடார்களுக்கும் பாதுகாப்பு மையத்துக்கும் உடனே பிழையின்றி அஞ்சல் செய்யப்பட்டாக வேண்டும். இத்தேவைகளைப் பூர்த்தி செய்வதற்காகக் கணிப்புப் பொறிகளும் நம்பகமான தானியியங்கி செய்தித்

தொடர்பு சாதனங்களும் இந்தக் கூட்டமைப்பில் அடங்கியுள்ளன. நூற்றுக் கணக்கிலும், ஏன் ஆயிரக் கணக்கிலுமான கிலோமீட்டர் தொலைவுக்கு விலகி அமைந்துள்ள தனிப்பட்ட ரேடார் அமைப்புகளும் இவற்றுடன் ஒருங்கிணைந்து செயல்படுகின்றன.

எதிர்—ஏவுகணைக் கூட்டமைப்பின் ரேடார்களைப் பற்றி இதுகாறும் கூறினோம். பகைவனது தாக்குதலை முதன் முதலாக நமக்குத் தெரியப்படுத்துவது தொலை தூர முன் எச்சரிப்பு (distant early-warning அல்லது DEW) ரேடார்கள்தாம். இந்த ரேடார்களின் திரைகளில் தோன்றும் இலக்குப் புள்ளிகளை ஊழியர்கள் பரிசீலிக்கும் அதே நேரத்தில் இவற்றுடன் இணைக் கப்பட்டுள்ள கணிப்புப் பொறி இலக்கின் தற்போதைய இடநிலைகளைக் கணித்து இந்த இலக்கு செல்லக் கூடிய பாதையை வகுத்து இவ்விலக்கினால் அபாயம் ஏற்படுமா என்பதையும் தீர்மானிக்கின்றது. அந்த இலக்கு செயற்கைக் கோளா, எரிமீனா அல்லது பகைவனது ஏவுகணையா என்பதை ஒருசில விநாடிக் குள் கணிப்புப் பொறி மதிப்பிட்டு விடுகிறது. பகைவனது ஏவுகணை என்று தெரியுமாயின் அக்கணமே பாதுகாப்பு மையத்துக்குச் செய்தித் தொடர்பு சாதனங்கள் மூலம் தக்க சைகை அனுப்பப்படுகிறது. அங்குள்ள ரேடாருக்குக் கட்டளை பிறப்பிக்கப்பட்டு விடுகின்றது. இந்த ரேடாரானது உடனே இலக்கின் இடநிலையை இன்னும் துல்லிதமாகக் கணித்து, இவ் விவரங்களை அடையாளங் காணும் ரேடாருக்கு அனுப் புகின்றது. அடையாளங் காணும் ரேடார் உடனே இலக்கின் இடநிலை சரிதானா என்று ஆராய்ந்து, ஏவு

கணையால் அதன் செல்பாதையின் இறுதிக் கட்டத்தில் விடப்படும் போலியான கணைகளிடையே மெய்யான போர்க்கணையின் இடநிலையைக் கண்டறிகிறது.

இந்த ரேடார்களின் பருமனையும் சிக்கலான பொறியமைவையும் பின்வரும் புள்ளி விவரங்களிலிருந்து நீங்கள் ஊகித்துக் கொள்ளலாம். அமெரிக்க ஐக்கிய நாட்டில் பயன்படுத்தப் பெறும் அடையாளங் காணும் ரேடாரானது சுமார் 200 டன் எடையுள்ளது. இது கிட்டத்தட்ட 26 மீட்டர் குறுக்களவுள்ள பரவளைவு (parabolic) ஏரியலை உபயோகித்துக் கொள்கிறது. காற்று, மழை, பனி ஆகியவற்றிலிருந்து பாதுகாக்க இந்த அமைப்பானது 43 மீட்டர் விட்டமுள்ள கோள வடிவிலான கட்டிடத்தினுள் வைக்கப்பட்டுள்ளது. இந்த முழு அமைப்பும், 15 அடுக்குக் கட்டிடத்தை விட உயரமானதாகும். இதற்கான மொத்தச் செலவு 16 மில்லியன் டாலர்களாக மதிப்பிடப்படுகிறது. பெரிய கூட்டமைப்பின் ஒரு சிறு பகுதியே இது என்பதை மனதில் கொண்டாக வேண்டும்.

மேற்கூறிய மூன்று ரேடார்களும் முடிவு செய்யும் மட்டத்துக்குரியவை. இலக்கானது ஆபத்தை விளைவிக்கக் கூடியதுதான் என்று இவை முடிவு செய்ததும், முடிவைச் செயல்படுத்தும் மட்டத்துக்குரிய் சுடுவதற்கான அமைப்பு இயங்க முற்படுகிறது. இவ்வமைப்பு எதிர்-ஏவுகணை செலுத்தும் பொறியமைவுடன்கூட, செல்வழிக் கணிப்பு ரேடாரையும் வழிகாட்டும் ரேடாரையும் கொண்டதாகும். செல்வழிக் கணிப்பு ரேடாரானது இலக்கைக் கண்காணித்து

அதன் தற்போதைய இடநிலையின் ஆயத்தொலைவுகளை (coordinates) அளந்து அறிவிக்கிறது. வழிகாட்டும் ரேடார் ஏவுகணையின் இடநிலை ஆயத்தொலைவுகளை அளந்து கூறுகிறது. இரண்டு ரேடார்களும் தமது விவரங்களைக் கணிப்புப் பொறிக்கு அளிக்கின்றன. கணிப்புப் பொறி ஏவுகணை செல்ல வேண்டிய செல்பாதையைக் கணிக்கிறது. பிறகு இலக்குடன் மோதும்படி ஏவுகணையைச் செலுத்துவதற்கு வேண்டிய ஆணைகள் ஆணை அனுப்பு சாதனத்தின் மூலம் அனுப்புகின்றன.

பிற அமைப்புகள் சற்று மாறுன முறையில் செயல்படுகின்றவை. சேஃப்கார்டு (Safeguard) அமைப்பு இவற்றில் ஒன்ருகும். அமெரிக்க ஐக்கிய நாட்டுக்கும் கனடாவுக்கும் இடையிலான எல்லையிலிருந்து 3,500 கிலோமீட்டர் தொலைவில் லெங்டான் என்னும் இடத்தில் 1974க்குள் இது நிறுவப் பெறுமென அமெரிக்கச் செய்தியேடுகள் அறிவித்து வந்தன. இது இரண்டு ரேடார்களையும் இடைமறிக்கும் ஏவுகணைகளைச் செலுத்தும் தளங்களையும் கொண்டதாய் இருக்கும். ஜெனரல் எலக்டிரிக் கம்பெனியால் உருவாக்கப்பட்ட தேடும் ரேடாரானது, எதிரியின் ஏவுகணைகள் சுமார் 1500 கிலோமீட்டர் தூரத்திற்கும் அதிகமான தொலைவில் வரும்போதே அவற்றைக் கண்டுபிடித்து முன்னெச்சரிக்கை அளிப்பதுடன், தொடர்ந்து அவற்றைக் கவனித்து விபரங்களை அறிவிக்கும். இந்த ரேடாரானது பூமிக்கட்டியில் 60 மீட்டர் நீளமும் அகலமும் 40 மீட்டர் உயரமும் கொண்ட உறுதியூட்டப் பெற்ற கான்கி

ரீட் அறையினுள் அமைக்கப்பட்டிருக்கும். மற்றும் இந்த அமைப்பு ஒரு மின்விசை நிலையமும் அணுகும் பாதாளப் பாதையொன்றும், பாதாளச் செய்தித் தொடர்பு வசதியும் கொண்டதாய் இருக்கும். இந்த ஏவுகணைத் தளங்களிலிருந்து நீண்ட தொலைவு செல்லும் ஸ்பார்டன் (SPARTAN) ஏவுகணையும், குறுகிய தொலைவு செல்லும் ஸ்பிரிண்ட் (SPRINT) ஏவுகணையையும் செலுத்தலாம். ஏவுகணைத் தளப் பாதுகாப்பிற்காக அமைந்த இரண்டாவது ரேடாரைக் கொண்டு, இந்த ஏவுகணைகள் வழிசெலுத்தப்பட்டு எதிரிகளின் கணைகளைத் தாக்கி அழிக்கும். இந்த இரண்டாவது பல நூற்றுக் கணக்கான கிலோமீட்டர் தொலைவிற்கு அப்பாலுள்ள எதிரியின் கணைகளில் மிகவும் அபாயமானவற்றை அடையாளம் கண்டு, எதிர்-ஏவுகணைகளை வழிசெலுத்தி அவற்றை அழித்திடும். மிகவும் முன்னேறிய இந்த நவீன வகை ரேடார்கள், ஒரே நேரத்தில் பத்துக் கணக்கிலும் நூற்றுக் கணக்கிலுமான பகைக் கணைகளை இடைமறித்து அழிக்கக் கூடியவையாய் இருக்குமென எதிர்ப்பார்க்கப்படுகிறது. இந்த வியத்தகு ரேடார்களுக்குங்கூட இது மெய்யாகவே மலைப்பு தட்டும்படியான ஒரு சவாலாகவே இருக்கும்.

இந்த வகையான ரேடார்களுக்கு ஆகும் செலவு வியக்கத் தக்கதாகவே இருக்கும்—உருவாக்கி அமைத்துச் சோதனை நடத்திப்பார்ப்பது வரை ஒவ்வொன்றுக்கும் 150 முதல் 200 மில்லியன் டாலர் முதலீடு செய்ய வேண்டியிருக்கும்.

எதிர்-ஏவுகணைக் கூட்டமைப்பில் மிகவும் முக்கியமான உறுப்பு தொலைவிலிருந்தே முன்னதாய் எச்சரிக்கும் ரேடார்தான். இது எதிரியின் கணையை எவ்வளவுக்கெவ்வளவு விரைவில் கண்டறிந்து அறிவிக்கிறதோ, பாதுகாப்புகளைத் தயார் செய்து கொள்ள அந்த அளவுக்கு அதிகநேரம் கிடைக்கின்றது.

எதிரியின் ஏவுகணையை மிகவும் முன்னதாகவே கண்டறிந்து கொள்ள வலிமை மிகுந்த ரேடார் தேவைப்படுகின்றது. இத்தகைய ரேடார் நிறுவப்பட்டுள்ளது, எனினும் இதைவிட இன்னும் முன்கூட்டியே கண்டறிந்து அறிவிக்கும் ரேடார் ஒன்றை அமைத்தால் இன்னும் நன்முய் இருக்கும். ஆகவே ரேடார் துறை விற்பன்னர்கள் இதில் ஈடுபட்டுள்ளனர். இவர்கள் இப்பிரச்சினையை இரு வழிகளில் அணுக முயலு கின்றனர்.

காவலாள் ரேடார்களை அனுப்பிக் கண்காணிக்கச் செல்வது ஒரு வழி. இந்த ரேடார்களை விமானங்களிலோ அல்லது கப்பல்களிலோ அனுப்பி வைக்கலாம். சர்வதேசக் கடல்களில் தாய் நாட்டிலிருந்து நெடுந் தொலைவிலே செல்லும் பல கப்பல்களில் இந்தக் காவலாள் ரேடார்கள் அனுப்பப்படலாம். பகை ஏவுகணை செலுத்தப்படக் கூடிய எல்லா வழிகளையும் கண்காணிப்பதற்கு ஏற்ற மார்க்கங்கள் இந்தக் கப்பல்களுக்குத் தேர்ந்தெடுக்கப்படும். இதே முறையில் வான்வழி காவலாள் ரேடார்கள் விமானங்களில் நிறுவப்படலாம். வான்வழிக் கண்காணிப்பு கடல்வழிக் கண்காணிப்பைக் காட்டிலும் அனுகூலம் வாய்ந்த

தாய் இருக்கும், ஏனெனில் வான் உயரத்திலிருந்து கண்காணிப்பு வீச்சு அதிகமானதால் முன்னதாகவே பகை ஏவுகணைகளைச் கண்டறிந்து கொள்வது சாத்தியமாயிருக்கும். மிகையொலி வேகப் போர் விமானங்களையும் ஏவுகணைத் தாங்கி விமானங்களையும் விட இந்தக் காவலாள் ரேடார் விமானங்கள் வேகம் குறைவாய் இருப்பினும், இவை நெடுநேரம் விண்ணில் பறந்து கொண்டிருக்கக் கூடியவை.

மற்றொரு வழி அடிவானம் கடக்கும் (transhorizon) ரேடார்களைப் பயன்படுத்துவதாகும். சாதாரண ரேடார்கள் மைக்ரோ அலை (microwaves) வரிசைகளைப் பயன்படுத்துகின்றன. இவ்வகையான அலைகளின் நீளம் ஒன்று முதல் நூறு சென்டிமீட்டர் வரை இருக்கும். இவைகள் யாவும் அனேகமாய் நேர்கோட்டிலே பரவுகின்றவை, ஆகவே புவிப் பிரப்பின் வளைவுக்கு இணைவாய் இவற்றால் வளைய முடியாது. இதனால்தான் இவ்வகையான ரேடார்களின் கண்காணிப்புத் தொலைவு அடிவானத்துக்கு அப்பால் செல்லாதபடி வரம்பிடப் பட்டுவிடுகிறது. ஆனால் விமானம் உயரத்தில் பறப்பதால் அடிவானத்துக்கான தொலைவு அதிகமாகிவிடுகிறது. ஆகவே வான் வழிக் கண்காணிப்பு ரேடார்களின் வீச்சு கூடுதலாகி விடுகிறது.

ஆனால் ரேடாரில் நீள் அலைகள் பயன்படுத்தப் படும் போது பல இடர்கள் ஏற்படுகின்றன. முதலாவதாக, இலக்குகள் குறுகிய அலைகளை எதிரடிப்பது போல் அவ்வளவுச் சிறப்பாய் நீண்ட அலைகளை எதிரடிப்பதில்லை. இரண்டாவதாக, இந்த நீண்ட அலை

ரேடார்கள் பருமனில் பெரிதாகவும் எளிதில் பயன் படுத்திக் கொள்ள முடியாததாகவும் இருக்கின்றன. இன்னும் முக்கியமாய், இலக்கின் இருப்பிடத்தை இவற்றுல் அவ்வளவு துல்லிதமாகக் கண்டுபிடிக்க முடிவதில்லே. எனினும் புவிப் பரப்புக்கு இணேவாய் வளேந்து நீள் அலேகளால் அடிவானத்துக்கு அப்பாலும் பார்வையிட முடிகிறது. நிபுணர்களின் கருத்துப் படி, எதிரி தனது ஏவுகணேயைச் செலுத்தியதும் உடனே அதைக் கண்டறிந்து அறிவிப்பதுதான் இவ்வகை ரேடாரின் தலேயாய பணி. எதிரி தனது ஏவுகணேயை மேலே செலுத்துகையில் எழும் தீச் சுவாலே நீள் அலேகளே ஓரளவு நன்ருகவே எதிரடிப்பதால், அலே ஏற்பி எதிரடிக்கப்படும் அலேயை உடனே பதிவு செய்து காட்டிவிடும். பகை ஏவுகணேயின் இடநிலே ஆயத்தொலேவுகளே மிகத் துல்லிதமாகக் கண்டு கொள்வதற்குக் காப்பரண்களுக்கு அருகில் அமைந்த பிற ரேடார்களேப் பயன்படுத்திக் கொள்ளலாம். எனவே அடிவானம் கடக்கும் ரேடார் வருங்காலத்தில் நிறுவப்பட்டு, உலகில் எப்பகுதியிலிருந்தும் செலுத்தப்படும் ஏவுகணே அதன் துணே கொண்டு உடனே கண்டறியப்படலாம்.

அடிவானம் கடக்கும் ரேடார்களில் ஒரு சில மிக அதிக அதிர்வெண்களில் பத்து முதல் நூறு மீட்டர்கள் அளவு நீளமுள்ள அலேகளேப் பயன்படுத்திக் கொள்கின்றன. அதிக அதிர்வெண்களுள்ள அலேகள் புவிப் பரப்பின் வளேவுக்கு இணேவாய் வளேயக் கூடியவை அல்லவென்ருலும், கண்ணுடியால் எதிரடிக்கப்படுவது போல் இவை அயனக் கோளத்தால் எதிர

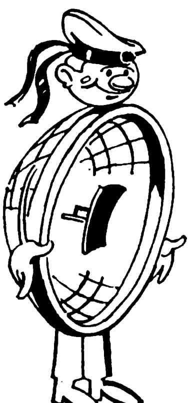
டிக்கப்பட்டு அடிவானத்துக்கு அப்பால் நெடுந்தொலை லைவிலுள்ள இடங்களையும் அடைய வல்லவை. அதிக அதிர்வெண்ணுடைய அலைகள் சில சமயம் அயனக் கோளத்தால் திரும்பத் திரும்ப எதிரடிக்கப்பட்டுப் பூமிக்கும் அயனக் கோளத்திற்கும் இடையே தத்தித் தத்திச் சென்று பூமியையே வலம் வந்து விடுகின்றன. இவ்வலைகளின் வலிமை மிகக் குறைந்திருப்பினும், ரேடாரின் ஏற்பிகள் இவற்றைக் குறித்துக் கொள் ளும். இவற்றிலிருந்து புவிக் கோளத்தைச் சுற்றிய மைந்த பல இடங்களிலும் அமைந்த எதிரடிப்புப் பரப்புக்களின் தன்மைகளைப் பற்றி நம்மால் அறிய முடியும்.

எதிரியின் ஏவுகணையை நிச்சயமாய் அழிக்கும் பொருட்டு, எதிர்-ஏவுகணைகளிலும் நிலத்திலிருந்து வானிற்கான ஏவுகணைகளிலும் சிறிய ரேடார்கள் பொருத்தி அனுப்பப்படுகின்றன. பகை இலக்கை இந்த ஏவுகணை ஒரு குறிப்பிட்ட தொலைவிற்கு நெருங்கி வந்தவுடன் அதன் சிறிய ரேடாரானது செயல்படத் துவங்கி விடுகின்றது. பகை இலக்கின் மீது அது அலைகளை வீசி எதிரடிக்கப்படும் அலைகளை ஏற்றுப் பதிவு செய்கிறது, ஏவுகணையில் அமைக்கப் பட்டிருக்கும் வழிசெலுத்தும் அமைப்பு உடனே செயல்பட்டு, ஏவுகணையைத் தக்கபடி செலுத்தி, நழுவி ஓடமுயலும் பகை இலக்கின் மீது மோதி அதை அழிக்கும்படிச் செய்யும். சில ஏவுகணைகளில் ரேடார் ஏற்பி மட்டுமே பொருத்தப்பட்டிருக்கும். அப்போது தரையிலுள்ள ரேடாரானது பகை இலக்கின் மீது அலைகளை வீசுகிறது, பகை இலக்கால் எதிரடிக்கப்ப

டும் அலைகளை ஏவுகணையின் சிறிய ரேடார் ஏற்பி பதிவு செய்கிறது. இந்த ஏவுகணை அதிக பளுவில்லாத எளிய பொறிகளையே சுமந்து செல்வதனுல் இது மிக வேகமாகச் செல்கிறது, இதன் நம்பகத் தன்மையும் பன்மடங்கு கூடுதலாகி விடுகிறது. தரையிலுள்ள ரேடாரும் ஏவுகணையில் அமைந்த சிறிய ரேடாரும் ஒருங்கிணைந்து செயல்படுவதற்குப் பல வழிகளிலும் ஏற்பாடு செய்யலாம்.

கடலில் ரேடார்

ரேடாரைத் தங்களது துறையில் பயன்படுத்தத் துவங்குவதில் மாலுமிகள் பின்தங்கி விடவில்லை. இக் காலத்துக் கப்பல் அதன் பருமனுக்கு ஏற்றபடி ஒன்று அல்லது இரண்டு முதல் முப்பத்து ஐந்து ரேடார்



கள் வரையில் தாங்கிச் செல்கிறது. விமானந்தாங் கிக் கப்பல், போர்க் கப்பல் போன்றவை ஒவ்வொன் றும் முப்பது முதல் முப்பத்து ஐந்து ரேடார்களையும், குருசைசர் (cruiser) போர்க் கப்பல் இருபதையும், அழிப்பான் (destroyer) கப்பல் பத்தையும், நீர் மூழ்கிக் கப்பல் ஐந்தையும் கொண்டுள்ளன. துறை முகத்தில் கப்பல்களை இழுத்துச் செல்லும் இழுப் பானுங்கூட (tug) இக்காலத்தில் குறைந்தது ஒரு ரேடாராவது பெற்றிருக்கிறது. இத்தனை ரேடார் களும் செய்யும் பணி என்ன?

முதலாவதாக, நமக்கு ஏற்கெனவே தெரிந்திருக் கும் தேடும் ரேடாரைக் குறிப்பிடலாம். இந்த ரேடார் சற்றுப்புற நிலைமையைக் கண்காணித்து, நேசக் கப்பல் அல்லது பகைக் கப்பல் தெரியுமாயின் உடனே கப்பல் தலைவனுக்கு எச்சரிக்கை அளிக்கிறது. இந்த வகை ரேடாரின் சுழலும் ஏரியல் எந்தக் கப் பலிலும் தெளிவாகவே கண் முன்னால் தெரியக் காணலாம். மேலடுக்குகளாலும் கம்பங்களாலும் தடுக்கப்படாமல் அலைகளை வீசவும் ஏற்கவும் முடியும்படி இந்த ஏரியல் கூடுமான அளவுக்கு உயரமாய்ப் பொருத்தப்பட்டி ருக்கிறது.

விமானப் படையைப் போன்றே, கப்பல் படை யும் கண்ணில் படாமலே பகைக் கப்பல்கள் நெருங்கி வந்து விடாதபடித் தடுக்கும் பொருட்டு, தொலைவில் வருகையிலேயே அவற்றைக் கண்டறிந்து முன்னதா கவே எச்சரிக்கை அளிக்கும் ரேடார் அமைப்பைப் பயன்படுத்திக் கொள்கிறது. வான் வெளியைக் கண் காணிக்கும் ரேடார்களும் அடிக்கடிக் கப்பல்களில்

பொருத்தப்படுவது உண்டு. நம்பகமான காவலாட்களாக அமைந்து இவை பகை விமானங்களின் தாக்குதலிலிருந்து கப்பல்களைப் பாதுகாக்கின்றன.

போர்க் கப்பல்களின் பீரங்கிகள், விமான-எதிர்ப்புக் குண்டுப் பொறிகள், டார்பிடோக்கள் முதலியவற்றைத் தக்க நேரத்தில் சரியானபடி ஒழுங்கு இயக்கும் ரேடார்களும் பயன்படுத்தப்படுகின்றன. சொந்த துறைமுகங்களில் மோசமான வானிலையிலும், கப்பல்கள் ஒன்றோடொன்று மோதிக் கொள்ளாமல் இருப்பதற்கு ரேடார்கள் வகை செய்கின்றன. மிக நவீனமான கடற் கப்பல் ரேடாரானது கணிப்புப் பொறிகளுடன் இணைக்கப்பட்டுள்ளது; எதனுடனாவது மோதிக் கொள்ள நேரும்படியான சாத்தியப்பாடு எழுகையில் முன்கூட்டியே இது எச்சரிக்கை அளித்து மோதலுக்கு இடமில்லாத பாதையிலே கப்பலைச் செலுத்துவதற்குக் கப்பல் தலைவனுக்கு உதவுகிறது. கப்பல் படையைச் சேர்ந்த விமானங்களில் பொருத்தப்பட்டிருக்கும் ரேடார்களையும் குறிப்பிட வேண்டும்—ஏவுகணைக் கப்பல்கள் சுடும் ஏவுகணைகளை இலக்குகளுக்கு வழிகாட்டி நெறிப்படுத்தும் ரேடார்கள் இவை. இதே போல் ஹெலிக்காப்டர் விமானங்களில் அமைந்த ரேடார்கள் நீர்மூழ்கிக் கப்பல்களைத் தேடிப் பிடித்து அவற்றை அழித்திட உதவுகின்றன.

அடுத்து, கரையோரமாகச் செல்கையிலும் ஆற்று முகத்துவாரங்களில் செல்கையிலும் துறைமுகங்களினுள்ளும் கப்பல்களுக்கு ஆபத்து நேராதவாறு காப்பளிக்கும் கப்பல் போக்குவரத்து ரேடார் அமைப்

பினைச் சற்று விவரமாகப் பரிசீலிக்கலாம். மேற்கு ஜெர்மனியில் நிறுவப்பட்டிருக்கும் இம்மாதிரியான ஓர் அமைப்பு பால்டிக் கடற்கரை ஓரத்திலும் கப்பல் போக்குவரத்தின் பாதுகாப்புக்குச் சேவை புரிகிறது.

எல்பா, வெஸ்ஸர் ஆறுகளில் இரவிலும் மூடுபனியிலும் கப்பல் போக்குவரத்துக்கு வகை செய்யும் பொருட்டு 1958 ஆம் ஆண்டில் ரேடார் அமைப்பு ஒன்று நிறுவப் பெற்றது. பிற்பாடு ஹாம்புர்க் (Hamburg) துறைமுகத்தில் ஒரு ரேடார் நிலையம் நிறுவப்பட்டு இந்த அமைப்பு விரிவுபடுத்தப்பட்டது. ஏனெனில் கப்பல்களில் அமைந்த ரேடார்கள், எதிர்படும் கப்பல்களைக் கண்டறிந்து தெரிவிப்பதற்கும் அவை எத்தொலைவில் உள்ளன என்று கணக்கிடவும் உதவின என்றாலும், அவற்றைப் பற்றிய போதுமான தகவல்களை இந்த ரேடார்களால் அளிக்க முடியவில்லை. கப்பலில் அமைந்த ரேடாரால், குறுகலாய் வளைந்து நெளிந்து செல்லும் ஆற்றினை நெடுந்தொலைவுக்கு கண்காணிக்க முடியவில்லை. இந்தக் குறையை நீக்குவதற்காக ஆற்றங்கரையில் ஆங்காங்கே ரேடார்கள் அமைக்கப்பட்டன.

இவ்வாறு கரைகளில் அமைந்த ரேடார்களின் பணியாளர்கள் அப்பகுதி பற்றிய தகவல் ஞானத்துடன்கூட மற்றும் பல துறைகளிலிருந்தும் கிடைக்கும் தகவல் விவரங்களையும் பயன்படுத்திக் கொள்கிறார்கள். கப்பல் மார்க்கத்தில் நிலவும் நிலைமை குறித்து இவர்கள் கப்பல்களின் தலைவர்களுக்குத் தெரியப்படுத்துகிறார்கள். இத்தகவல்களின் பேரில் கப்பல் தலைவர்கள் கப்பல் போக்குவரத்து இடரின்றி நடைபெறு

வதற்குத் தேவையான நடவடிக்கைகளை எடுத்துக் கொள்கிறார்கள்.

வெஸ்ஸர் ஆற்றில் ஆல்டி வெஸ்ஸர் கலங்கரை விளக்கத்திலிருந்து பிரிமர் ஹேபன் நகர் வரை அமைந்த சுமார் 60 கிலோமீட்டர் தொலைவுள்ள கப்பல் போக்குரத்துக்கு ஏற்ற பகுதி மிகவும் குறுகலானதாய் இருக்கிறது. மேலும் அலை ஏற்றங்களின் போது மூழ்கி விடும் எண்ணற்ற மணற் திட்டுகள் நிலைமையை மேலும் மோசமாக்கி விடுகின்றன. இந்தச் சூழ்நிலைமையில் கப்பல் போக்குவரத்து இடரின்றி நடைபெறுவதற்கு உதவுவதற்காக இவ்வழியில் நான்கு ரேடார்கள் நிறுவப்பட்டுள்ளன. ஒவ்வொரு ரேடாரின் செயற்பாட்டுத் தொலைவின் உச்ச வரம்பு 12 கிலோமீட்டர். இந்த ரேடாரின் திரை, 6 கிலோ மீட்டர் ஆரத்தில் இருக்கும் எல்லா இலக்குகளையும் ஒரே நேரத்தில் காட்டுகிறது. வெஸ்ஸர் ஆற்றில் கப்பல் வழி மிகவும் குறுகலானதால், 15 மீட்டரே விலகியமைந்த இலக்குகளையும் இந்த ரேடார்கள் தனித்தனியே பிரித்துச் காட்டும் ஆற்றல் வாய்ந்தனவாய் இருந்தாக வேண்டும். விளக்குக் கம்பங்களின் உச்சியில் இந்த ரேடார்கள் பொருத்தப்பட்டிருக்கின்றன. ஆகவே ஏரியல், சுழற்றுப் பொறி, ஏனைய சாதனங்களின் மொத்த எடையைக் குறைப்பதற்காக, திட்டம் புனைவாளர்கள் எல்லா உத்திகளையும் கையாண்டிருக்கிறார்கள். ரேடார்களின் பருமனும் எடையும் பாதிக்கப்படாமல் இந்த ரேடார்கள் செவ்வனே செயல்படுவதற்காகவும் பல ஏற்பாடுகளையும் செய்திருக்கிறார்கள்.

இந்த ரேடார்களினுல் சேகரிக்கப்படும் தகவல்கள் பிரிமரிஹேறபன் என்னுமிடத்தில் முறைப்படுத்தப்பட்டு வானெலித் தொடர்பு மூலம் அஞ்சல் செய்யப்பட்டு, கட்டுப்பாட்டு ஆணைகளாகவும் செய்திகளாகவும் அனுப்பப்படுகின்றன.

தற்போது ரேடார் ஊழியர்கள் மிக உயர் அதிர்வெண் (VHF—very high frequency) ரேடியோ சாதனங்களைப் பயன்படுத்தி ஆற்றின் நிலைவரம் குறித்துக் கப்பல்களுக்குத் தெரிவிக்கிருர்கள், எதிர்படக் கூடிய அபாயங்கள் குறித்து எச்சரிக்கின்ருர்கள். இனி வருங்காலத்தில் ரேடார் தகவல் விவரங்கள் தானியங்கி முறைகள் மூலம் கப்பல்களுக்கு அஞ்சல் செய்யப்படுமென எதிர்ப்பார்க்கப்படுகிறது. இந்த விவரங்களிலிருந்து தக்க கருவிகள் ஆற்றின் நிலைவரத்தை ரேடார் திரைகளில் தெரியும் அதே தெளிவோடும் கூர்மையோடும் தமது திரைகளில் தெரியச் செய்யும். இந்தக் கருவிகள் வழிகாட்டியால் தாங்கிச் செல்லப்படலாம் அல்லது ஒவ்வொரு கப்பலிலும் நிரந்தரமாகப் பொருத்தப்பட்டிருக்கலாம்.

விவரங்களை அஞ்சல் செய்ய மிகக் குறுகிய அதிர்வெண்பட்டையே (band) பயன்படுத்தப்படும். ஏனெனில் ஆற்றுத் துறைகளிலும் அவற்றின் அருகிலும் செயல்படும் மிகப் பல நிலையங்களும் அதிர்வெண் மாலையை ஏற்கெனவே நெரிசல் மிக்கதாய்ச் செய்துள்ளன.

இந்த ரேடார் அமைப்புக்குத் திட்டம் புனைந்த மூலவர்கள் கப்பல்களை அடையாளங் கண்டு அறிவிக்

கும் வசதிகளுக்கும் ஏற்பாடு செய்யத் திட்டமிட்டு வருகிருர்கள். அதிகபட்ச அளவுக்குக் கூர்மையாய்ப் பிரிக்கப்பட்டுத் தெளிவாக ரேடார் திரையில் தெரி கின்ற போதுங்கூட, சாதாரணமாய் அடையாளங் கண்டு கொள்வது மிகக் கடினம். விமானங்களில் இந்த வேலே IFF உறுப்புகளால் செய்யப்படுகிறது என்பதை நாம் ஏற்கெனவே தெரிந்து கொண்டோம். ஆனுல் IFF அமைப்பு செயல்பட வேண்டுமென்ருல், நாம் கேள்வி கேட்டு அடையாளங் கண்டு கொள்ள வேண்டிய ஒவ்வொரு கப்பலிலும் பதிலிறுப்பான் (responder) இருந்தாக வேண்டும். இத்தொல்லேயி லிருந்து விடுபட, கரையில் அமைந்த கப்பல் போக் குவரத்து பாதுகாப்பு ரேடார் அமைப்பில் கையா ளப்படும் ஏற்பாட்டை அனுசரிக்கலாம். ரேடார்க ளுடன் தொடர்பு கொள்வதற்காக கப்பலில் அமைந்த VHF திசைகண்டுபிடிப்பான்களேக் கொண்டு முதலில் துல்லிதமாகக் கண்டுகொள்ளலாம். அடையாளங் காணப்பட வேண்டிய கப்பிலின் இடம் இவ்விதம் நிர்ணயிக்கப் படுகிறது. இதே வழியில் கப்பல்கள் யாவும் ஒவ்வொன்ருக அடையாளங் காணப்படுகின் றன.

அடையாளம் காணப்பட்ட கப்பல்களேக் கண்கா ணிக்கும் வேலே எளிதாகும் பொருட்டு, ரேடார் திரையில் ரேடார் சைகைக்குப் பக்கத்தில் அக்கப்ப லுக்கான அடையாளங் குறிக்கப்படலாம். இலக் குகளது திசையைக் காட்டும் கோ,டுகளுடன் கூட அப்பகுதியின் படமுமோ, மிதவைகள் போன்ற எல் லேக் குறிகளேக் காட்டும் படமோ பதிக்கப்படலாம்.

வசந்தம் பிறந்ததும் பனிக்கட்டிகள் இடம்பெயர்ந்து செல்லும் காலத்தில் இந்த மிதவைகள் அகற்றப்பட்டாலுங்கூட, இவற்றின் இடநிலைகள் ரேடார் திரையில் குறிக்கப்பட்டிருக்கும்.

இம்மாதிரியான ரேடார் அமைப்புகள் சோவியத் நாட்டில் பயன்படுத்தப்படுகின்றன. ஓர் அமைப்பு 1955 முதலாய் கருங்கடலில் அதெஸ்ஸாவில் பணியாற்றி வருகின்றது. பால்டிக் கடலிலும் கோலா வளைகுடாவிலுங்கூட இதையொத்த அமைப்புகள், கப்பல் மார்க்கத்தின் இடர்ப்பாடுகள் மிகுந்த 'பகுதிகளிலும் போக்குவரத்து மிகவும் அதிகமுள்ள துறைமுகங்களுக்கு அருகிலும் செயல்படுகின்றன. எனவே அபாயமில்லை என்ற தெம்புடன் கப்பல்களின் காப்டன்கள் கப்பல்களை வேகமாகச் செலுத்த முடிகிறது, இவ்விதம் காலச் செலவு குறைந்து, துறைமுகங்களில் கூடுதலான கப்பல்கள் வந்து செல்வது சாத்தியமாகிறது.

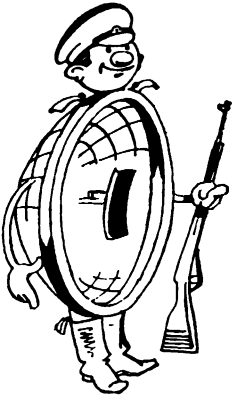
கடற் பணிக்கான ரேடார்களுக்கு மற்றொரு எடுத்துக்காட்டு, 1967 ஆம் ஆண்டு லைப்ஜிக் சந்தையில் (Leipzig Fair) காட்டப்பட்டது. தீ அணைக்கும் படகுகளில் நிறுவப்படுவதற்காக அமைந்தது இது. ஒரு சில மீட்டருக்கு மேல் கண் தெரியாத அடர்த்தியான புகைக்குள் சென்று பணி புரியும் தீயணைக்கும் படையினருக்கு இந்த ரேடார் உதவக் கூடியது.

விபத்துக்குள்ளான கப்பலை விட்டு உயிர்க்காப்புப் படகுகளில் தப்பிச் செல்லும் மாலுமிகளுக்கும் ரேடார் உதவி புரிகிறது. ''தேடிப் பிடித்துக் காப்

பாற்றும் ரேடார்கள்'' என்று அழைக்கப்படும் இவை கரையோரக் காப்புப் படையினரிடம் உள்ளன. இவர்கள் இந்த ரேடார்களின் துணை கொண்டு கொந்தளிக்கும் கடலிலும் 16 கிலோமீட்டர் தொலைவு வரையிலான பரப்பில் மிதக்கக் கூடிய உயிர்க் காப்புப் படகுகளை கண்டறிந்து கொள்கிறார் கள். அந்தப் படகுகளில் இருப்போர் இதன் பின் உயிர் தப்புவது நிச்சயமாகி விடுகிறது.

சேனையில் ரேடார்

நமது விளக்கவுரை நம்மைச் சேனையில் பயன்டும் ரேடாருக்கு அழைத்து வந்துள்ளது. விமானப் படையில் ரேடாரானது விமானத்தினால் எடுத்துச் செல்லப் படுகின்றது; கப்பற்படையில் ரேடார் கப்



பல்களில் எடுத்துச் செல்லப்படுகின்றது. ஆனால் இன்றைய சேனையில் (காலாட்படை என்பதாய் இச்சொல்லின் வழக்கமான அர்த்தத்தில் இக்காலத்தில் இல்லை) ரேடாரானது வாகனங்களிலோ, படையாட்களது முதுகிலோ எடுத்துச் செல்லப்படுகிறது. எனவேதான் சேனையில் பயன்படும் ரேடார்கள் பொதுவாக எளிதில் எடுத்துச் செல்லத்தக்கதாகவும் சிறிய முதுகுச் சுமையாய்ச் சுமந்து செல்லத் தக்கதாகவும் நடமாடும் ரேடாராகவும் இருந்தாக வேண்டியுள்ளது. சிறியதாக இருந்த போதிலும் சேனையின் ரேடார்கள் இல்லாமல் இக்காலத்தில் தரைப் போர்கள் நடைபெற இயலாது. போர்க் களத்தில் காவற் பணி புரிவதே சேனையின் ரேடார்களது தலைமையான பணி. செய்தியேடுகள் தரும் விவரங்களின்படி பின்வரும் ரேடார் வகைகள் இன்று சேனையில் பயன்படுத்தப்படுகின்றன.

கைச் சுமையாய் எடுத்துச் செல்லத்தக்க போர்க்கள ரேடாரானது, 1.5 முதல் 2 கிலோமீட்டர் தொலைவில் செல்லும் எதிரிப் படையாள் அணிவரிசையையும், 6 கிலோமீட்டர் தொலைவில் ஓடும் வண்டிகளையும் கண்டிறிந்து கூற வல்லது. இவ்வகைப்பட்ட நவீன ரேடாரின் எடை 4.5 கிலோகிராம்தான். ரேடார் நிலையமானது பகைவனின் தாக்குதலுக்கான முதலாவது இலக்காகுமாதலால், நூற்றுக் கணக்கான மீட்டருக்கு அப்பாலிருந்தபடி இதனை இயக்குவதற்கு வகை செய்யும் தொலைக்கட்டுப்பாட்டு வசதி இதனுள் பொருத்தப்பட்டிருக்கிறது. இவ்வகை ரேடாரில் எலக்ட்ரான் கதிர்க்குழாய் (cathode ray

tube) இருப்பதில்லை. எனவே இலக்குகளைத் திரையில் காண இயலாது. இலக்குகளை அவற்றின் தன்மைக்கு ஏற்ப வெவ்வேறு ஸ்தாயியிலும் (pitch) செறிவிலும் (volume) தொனிகளாக இது தெரிவிக்கிறது. பயிற்சி பெற்ற படையாள் இந்தத் தொனிகளைக் கொண்டு, தனக்கு அருகே செல்வது படையாள் வரிசையா, ஊர்ந்து செல்லும் சாதாரணப் படையாளா, பட்டையோட்ட வாகனமா அல்லது வண்டியா என்று தெரிந்து கொண்டுவிடுமாம். இவ்வகையைச் சேர்ந்த சில ரேடார்கள் 300 மீட்டருக்கு அப்பால் நீட்டிக் கட்டப்பட்டுள்ள மில்லிமீட்டர் அளவே குறுக்களவு கொண்ட நைலான் கயிற்றையுங்கூட கண்டறிந்து கூறிவிடக் கூடியவை.

முக்கிய இராணுவ அமைப்புகளைச் சுற்றிக் காவல் புரிவதற்காக அமைந்த கைச் சுமையாய்க் கொண்டு போகக் கூடிய ரேடார்கள் பயன்படுத்தப்படுகின்றன. 45 மீட்டர் தொலைவிற்குள் வரும் ஆளையும் 180 மீட்டர் தொலைவிற்குள் வரும் வாகனத்தையும் இவை கண்டறிந்து அறிவிப்பதுடன், வரும் ஆள் அல்லது வாகனத்தின் வேகத்தையும் நிர்ணயித்துக் கூறுகின்றன.

எந்த அடிப்படையில் பார்த்தாலும் இது மெச்சத்தக்க சாதனையே. திட்டம் புனைந்தவர்கள் மிகப் பல இடையூறுகளைச் சமாளித்து இந்தச் சாதனையைக் காண வேண்டியிருந்தது. சாதனங்கள் பருமனில் சிறிதாய் இருப்பதாலும் மற்றும் பல காரணங்களாலும் இந்த இடையூறுகள் எழுந்தன.

நிலப் பரப்பும் நிலத்தில் நிலையாகப் பொருந்திய

பலவும் ரேடார் அலைகளை எதிரடிக்கின்றன, நிலத்தின் எதிரடிப்பு எனப்படும் இது ஒரு பிரதான சிக்கலாய் அமைந்தது. ரேடாரிலிருந்து அலைகள் வானுேக்கிச் செலுத்தப்படுகையில், இவ்வலைகள் விமானம் அல்லது ஏவுகணையில் பட்டு எதிரடிக்கப்படுகின்றன. வேண்டாத பிற எதிரடிப்புகள் இல்லாததால், விமானம் அல்லது ஏவுகணையின் எதிரடிப்பு தெளிவாகவே ரேடார் திரையில் தெரிகிறது. ஆனல் ரேடார் அலைகள் நிலப் பரப்பைத் தொட்டுச் செல்லுமாறு அனுப்பப்படுகையில் வழியிலுள்ள கட்டிடங்கள், காடுகள், மலைகள், இன்னும் இவை போன்ற நமக்கு தேவையற்ற பலவும் இவ்வலைகளை எதிரடிக்கின்றன. ஆகவே நமக்குத் தேவையான இலக்கின் எதிரடிப்பை இவைகளிலிருந்து பிரித்துப் பார்ப்பது மிகவும் கடினமாகி விடுகிறது. இத்தொல்லையிலிருந்து விடுபடுவதற்கு, நாம் முன் அத்தியாயத்தில் விளக்கிய டாப்ளர் முறை ரேடாரானது நமக்கு உதவுகிறது. நகரும் இலக்குகள் மட்டுமே இதில் எதிரடிப்பை உண்டாக்கிறது. நகரும் இலக்குதான் இங்கு நமக்குத் தெரிய வேண்டும். நிலையான பொருள்களது சைகைகள் எல்லாம் தவிர்க்கப்பட்டு விடுவதால், நகரும் எந்தப் பொருளையும் கண்டறிய இங்கு தடைகள் ஏற்படுவதில்லை. வேவு பார்க்கும் (reconnaissance) ரேடார்கள் சில சமயம் ஹெலிகாப்டர்களில் பொருத்தப்பட்டு அனுப்பப்படுவது உண்டு. இம்மாதிரியான ரேடார் ஒன்றில், நிலப்பரப்பை இடைவிடாது பரிசீலிக்க ஒரு வியத்தகு அமைப்பு பயன்படுத்தப்படுகிறது. பொதுவாக ரேடாரின் ஏரியல் தொகுப்பானது

ஒரு தனி மோட்டாரினுல்தான் சுற்றப்படும். ஆனுல் இவ்வகை ரேடாரில் ஏரியலின் பாகங்கள் யாவும், ஹெலிகாப்டர் சுழலியின் ஆர முனைகளில் பெருத்தப்பட்டிருக்கின்றன. சுழலி சுற்றும் போது இரு வேலைகள் ஒரே நேரத்தில் நடைபெறுகின்றன: ஹெலிகாப்டர் வானில் உயர்த்தப்படுகிறது, அதே போது ரேடார் ஏரியலும் சுற்றப்படுகிறது.

வேவு பார்க்கும் துறையைத் தவிர, எதிரியின் பீரங்கி மார்டர் (mortar) வெடிகளிடமிருந்தும் எறிபடைகளிடமிருந்தும் துருப்புகளுக்குக் காப்பு அளிப்பதற்கும் ரேடார்கள் பயன்படுகின்றன. சுடும் பகைவனது நிலைகளை இந்த ரேடார்கள் கண்காணித்து வருகின்றன. எதிரியிடமிருந்து பறக்கும் குண்டோ, மார்ட்டரோ, எறிபடையோ கிளம்பியவுடனே இந்த ரேடார்கள் அவற்றின் பாதைகள் பற்றி அறிவிக்கின்றன. இந்த விவரங்கள் நேரே கணிப்புப் பொறிக்கு அனுப்பப்படுகின்றன. கணிப்புப் பொறியானது குண்டுகளது பாதையைக் கணித்து, அவை எங்கிருந்து சுடப்பட்டன என்பதை ஒரு சில விஞடிகளில் நிர்ணயிக்கிறது. இந்த விவரங்கள் நேசப் பீரங்கிப் படைகளுக்கு அனுப்பப்படுகின்றன. உடனே இவை பகை பீரங்கி மார்ட்டர்கள், அல்லது எறிபடைப் பொறியை அழிக்கின்றன. இதே ரேடார் நேசக் குண்டுகள் அல்லது எறிபடைகள் குறிதவருமல் சுடப்படுவதற்கு வேண்டிய விவரங்களையும் தெரிவித்து உதவுகின்றன.

விமானப் படை, கடற்படை ஆகியவற்றில் பயன்படுத்துவதைப் போன்றே, சேனையிலும் வானில்

வேவு பார்ப்பதற்கும், எறிபடைகளை வழிப்படுத்த வும், போர் விமானங்களை நெறிப் படுத்தவும் ரேடார்கள் பயன்படுகின்றன. ஆனல் நிலப் படை கள் மட்டும் பயன்படுத்தும் தனிப்பட்ட ரேடார் வகைகளும் உள்ளன.

ரோடார்களை வகைப்படுத்த மேலே நாம் கையாண்ட முறை அவ்வளவாகப் பொருத்தமான தாய் இல்லை. இரண்டாவது உலகப் போரில் பீரங்கி வெடிகுண்டுகளில் இணைக்கப்பட்ட ரேடார் உருகி கள் (fuses) மேலே நாம் கூறிய ரேடார் வகை களில் எதையும் சேராதது. ரேடார் உருகி என்பது உண்மையிலேயே ஒரு ரேடார் நிலையமாகும்: அலை பரப்பி, அலை ஏற்பி, திரவ மின்கலன்களாலாகிய மின்விசை ஆதாரம் ஆகிய யாவும் அடங்கியது அது. குண்டு சுடப்பட்டதும் இந்த மின்கலம் செயல்பட ஆரம்பிக்கிறது. குண்டு அதற்குரிய இலக்கை ஒழிப் பதற்கு ஏற்ற அளவுக்கு இலக்கின் அருகே சென்ற தும் ரேடார் உருகியானது குண்டு வெடிப்பதற் கான கட்டளையை அளிக்கிறது. இந்த ரேடார் உருகி கள் பகை விமானங்களுக்கு எதிரான பாதுகாப்பி லும், கடற்படையிலும், சேனையிலும் பீரங்கிகளது குண்டு எறிவின் பயன்திறனை வெகுவாய் அதிகரிக்கச் செய்துள்ளன. இந்த ரேடார் உருகிகளை ரேடாரின் எவ் வகையில் சேர்ப்பது? முப்படைகளிலும் ரேடாரானது சிறந்த முறையில் செயலாற்றுகிறது. திடீர்த் தாக்குதலிலிருந்து அவற்றுக்குப் பாதுகாப்பு அளிக்கிறது, இன்றைய படைகளின் தாக்குதல் வலி வையும் உயர்த்தியிருக்கிறது.

ரேடாரும் விஞ்ஞானமும்

அடுத்து, விஞ்ஞானத்துக்கு ரேடார் ஆற்றும் சேவை என்ன? ஆதியில் ரேடாரைக் கண்டுபிடித்த மூலவர்களான விஞ்ஞானிகளை அதன் பரபரப்பு மிகுந்த வேலை மும்முரத்தில் அது மறந்து விட்டதா? இல்லை, நல்ல வேளையாக அப்படி ஒன்றும் இல்லை. ரேடாருக்கும் விஞ்ஞானத்துக்கும் இடையில் நிலவும் உறவுகள் இரு தரப்புக்கும் பயன் தரத்தக்க உறவுகளாகும். விஞ்ஞானிகள் ரேடாரின் வினைநுட்பத்தை ஓயாமல் உயர்த்திச் செல்ல, ரேடாரானது இயற்கையின் ஆய்வுகளில் விஞ்ஞானிகளுக்குத் தன்னால் இயன்ற எல்லா வழிகளிலும் உதவி வருகிறது.

ரேடார் வினைநுட்பம் முதன்முதல் அயனக்கோள அமைப்பைப் பற்றிய ஆய்வில் பயன்படுத்தப்பட்டது. இத்துறையில் ஏம். பான்ச்—புருயேவிச்சின் அயனக் கோள ஆய்வு நிலையமே ரேடாரின் முன்னோடி என்பதை முன்பே குறிப்பிட்டோம். அயனக் கோளம் என்பது எலக்ட்ரான் செறிவிலும் அயனிச் செறிவிலும் வேறுபடும் பல அடுக்குகளைக் கொண்ட கோளமாகும். இந்தச் செறிவு எந்த அடுக்கிலேனும் மாறுதான (critical) மதிப்பு எனப்படும் எல்லையை அடைந்ததும் அந்த அடுக்கு ரேடியோ அலைகளைத் திருப்பியடிக்க முற்படுகிறது. இந்த மாறுதான அடர்த்தி அதிர்வெண்ணுக்கேற்ப வேறுபடுகின்றது. எந்த உயரத்திலிருந்து குறிப்பிட்ட அதிர்வெண்ணுள்ள ரேடியோ அலைகள் அல்லது சைகைகள் திருப்பியடிக்கப்படுகின்றன என்பதைக் கண்டு,

அதிலிருந்து அயனக் கோளத்தில் எந்த உயரத்தில் எந்த அளவு எலக்ட்ரான் அடர்த்தி இருக்கின்றதென் பதை நாம் எளிதில் கணக்கிடலாம். இந்த விவரங் கள் அறிவியல் மதிப்புள்ளவை (பூமியின் வளி மண் டலத்தின் இயற்பியலுக்கு இவை பயன்படுகின்றவை) என்பதுடன், நடைமுறையிலும் மிகுந்த முக்கியத்து வம் வாய்ந்தவை. எடுத்துக் காட்டாக, அயனக் கோளத்தின் பண்புகளைக் கொண்டு, எந்தெந்த அதிர்வேண்களிலான ரேடியோ அலைகள் செய்தித் தொடர்புக்கு நல்ல முறையில் பயன்படும் என்பதை நாம் அறியலாம்.

வானிலை அறிவிப்பாளர்களுக்கு, ரேடாரானது இன்றியமையாத கருவியாகி விட்டது எனலாம். வானிலை ரேடாரைப் பற்றி முன்பே நாம் கூறியி ருந்த போதிலும், அதைப் பற்றி சற்று விரிவாய் விவாதிப்பது பயனுடையது. வானிலையைப் பற்றி அறிய, ரேடியோ—சாண்டிகளை (radio-sondes) அனுப்புவது ஓர் எளிய வழியாகும். இவை பல அளவைக் கருவிகளையும் சுமந்து கொண்டு காற் றிலே உயர்ந்து செல்லும் பலூன்கள். இக்கருவிகள் வானிலை விவரங்களை அளந்து உடனே அவற்றைப் பூமிக்கு அனுப்புகின்றன. எடை குறைவான உலோக எதிரடிப்பான் ஒன்று ரேடியோ—சாண்டியில் பொருத் தப்படுமாயின், ரேடாரானது இந்தப் பலூனை நூற் றுக் கணக்கான கிலோமீட்டர் தொலைவுக்குக் கண் காணிக்க முடியும். கண்காணிக்கும் ரேடாரானது ரேடியோ—சாண்டியை அடித்துச் செல்லும் காற்று ஓட்டங்களது வேகத்தையும் திசையையும் நிர்ணயித்

துக் கூறுகிறது. வானிலே விவரங்களைச் சேகரிப்பதற்கு இதனை நேர்முகமான வழியாகக் கூற முடியாது. ரேடார்கள் மூலம் நேரடியாக மேகங்களும் புயல் முனைகளும் சூறுவளிகளும் கண்காணிக்கப்படுகின்றன. நவீன ரேடார்கள் மேகத் திரள்கள் செல்லும் பாதைகளைச் கண்டறிவதோடு, நீராகக் குளிரும் மேகத்தினையும் கணக்கிட்டு விடுகின்றன. அமெரிக்க ஐக்கிய நாட்டில் நல்ல காற்றில் ஏற்படும் சுழற்சியைக் கூடக் கண்டறிந்து கூறும் ரேடார்கள் உள்ளன. இந்த ரேடார்களை இயக்குவோர், 16 கிலோமீட்டருக்கு அப்பாலுள்ளது வண்ணத்துப் பூச்சியா அல்லது தேனீயா என்று கண்டறிந்து கூறும் அளவுக்கு இவை நுண்ணுணர்வு படைத்தவை என்பதாகப் பெருமையுடன் கூறுகின்றனர். சூறுவளிகளையும் கடும் புயல்களையும் கண்காணிக்க ரேடார்கள் அவசியம் தேவை. இவைகள் கண்டறியும் விவரங்களின் அடிப்படையில் புயல் எச்சரிக்கை அறிப்புகள் அனுப்பப்படுகின்றன—அபாயத்துக்குரிய மண்டலங்களில் செல்லும் கப்பல்களும், அவற்றின் அருகே செல்லக் கூடிய விமானங்களும் இவ்விதம் முன்னெச்சரிக்கை செய்யப்படுகின்றன.

இந்தச் சாதனங்களின் செயல் திறன் வியக்கத் தக்கது. எடுத்துக்காட்டாக மாஸ்கோ நகரைச் சுற்றியுள்ள விமான நிலையங்களுக்கு மத்திய ஏரோஃப்ளோட் வானிலே நிலையம் அருஞ் சேவை புரிகிறது. நவநவீன ரேடார் சாதனங்களை இது பயன்படுத்துகின்றது. 1969 ஆம் ஆண்டில் மட்டும் இந்நிலையம் 200,000 விமானப் பயணங்களுக்குச் சேவை புரிந்

தது; ஒரு தரங் கூட இந்நிலையத்தின் முன்னறிவிப்புகள் தவறியதில்லை.

இன்றைய ரேடார் தொலைவுகளை மிகவும் துல்லியமாக அளக்கக் கூடியதால், விமானங்களில் அமைந்த ரேடார்களைக் கொண்டு, புவிப் பரப்புப் படங்கள் வரையப்படுகின்றன. இந்த விமானங்கள் ஒரே முறையில் மிகப் பெரும் பரப்புகளைச் சுற்றி வந்துவிடுகின்றன. அடிவானங் கடந்து செயல்படும் ரேடார்களைப் பயன்படுத்தி, பல ஆயிரம் கிலோ மீட்டர் தொலைவுக்கு நீண்டு செல்லும் கடற்கரையின் படம் வரையப்படுவது பற்றிய செய்தியுரைகள் வெளிவந்துள்ளன. கடற்பரப்பிலிருந்து எதிரடிக்கப்படும் ரேடியோ அலைகளின் அதிர்வெண் நிலப் பரப்பால் எதிரடிக்கப்படும் ரேடியோ அலைகளின் அதிர்வெண்ணிலிருந்து வேறுபடுகின்றது (டாப்ளர் விளைவை நினைவுபடுத்திக் கொள்ளுங்கள்). இந்த வேறுபாட்டைப் பயன்படுத்திக் கடற்கரைகளின் படங்கள் வரையப்படுகின்றன.

ஆர்க்டிக், அண்டார்க்டிக் பகுதிகளில் மிகப் பெரிய பனிப் பாறைகள் மிதந்த வண்ணம் உள்ளன. இவை அமுக்கத்தினுல் உடைக்கப்பட்டும், ஒன்றின் மேல் ஒன்று வைக்கப்பட்டும், காற்று வீச்சினுல் இவைகள் ஒன்றொடொன்று குவிக்கப்பட்டும், கடுங் குளிரால் ஒன்றொடொன்று சேர்த்து இணைக்கப்பட்டும் விடுகின்றன. பனிக்கட்டி உடைக்கும் பெருங் கப்பல்களாலுங் கூட இந்தப் பனிப் பாறைத் திரள்களை ஒன்றும் செய்ய முடிவதில்லை. பனிப் பாறை வேவு விமான ரேடார் இச்சந்தர்ப்பங்களில்

கப்பல் போக்குவரத்துக்குத் துணை புரிகிறது. ஆர்க்டிக் கடல் மார்க்கத்தின் ஆரம்ப நாட்களிலேயே விமானங்கள் கடினமான ஆர்கடிக் பயணங்களில் மாலுமிகளுக்கு உதவி வந்தன. பனிக்கட்டிப் பார்வையாளர்களை ஏற்றிக் கொண்டு ஆகாய விமானம் பறந்து செல்லும். வழியில் உள்ள பனிக்கட்டித் திரள்களின் பரப்புகளை இந்தப் பார்வையாளர்கள் வரைந்து கப்பல் செல்ல வேண்டிய பாதையைத் தெளிவாகக் குறித்துக் கொள்வர். பிறகு விமானத்தில் கப்பலின் கம்பங்களது உயரத்திற்குப் பறந்து, வரைப்படத்தைக் கொண்ட தபால் பையைக் கப்பலில் போடுவார்கள். ஆனால் மோசமான வானிலையில் சிறந்த விமானிகளால்கூட சில நேரம் வேவுப் பயணம் போய் வர முடியாமற் போகும். நேரில் கண்ணால் பார்த்தே அன்று இந்தப் பணி செய்யப் பட்டு வந்தது. ஆனால் ரேடார் தோன்றிய பின் கருவிகளைக் கொண்டு இந்தப் பணி நடைபெறலாயிற்று. இதற்காக AN-24 விமானம் ''பனிக்கட்டித் திரள்'' (icepack) என்ற பொருத்தமான பெயர் கொண்ட ரேடார் சாதனத்தை ஏற்றிச் செல்கின்றது. நாலு நிமிடங்களுக்கு ஒரு முறை இந்த ரேடார் நூற்றுக் கணக்கான சதுர கிலோமீட்டர் பரப்புள்ள இடத்தின் மீது ரேடார் அலைகளைப் பரப்புகின்றது. ரேடார்த் திரையில் தெரியும் பரப்பினை நிழற்பட காமிரா படம் பிடித்துக் கொள்கிறது. இவ்விதம் விவரமான பனிக்கட்டிப் படலப் படம் கப்பல் மாலுமிகளுக்குத் தரப்படுகின்றது.

இவ்வாறு எடுக்கப்பட்ட புகைப்படம் ஒன்றில் பெரிய பனிக்கட்டிப் பரப்பின் நடுவே ஒரு சிறிய அம்புக்குறியை நீங்கள் காணலாம். இந்த அம்புக்குறியானது, காராக் கடலில் சிக்கிய ''கீவ்'' பனிக்கட்டி உடைப்பான் கப்பலைக் குறிப்பதாகும். முன்னோடியாக சென்ற கப்பலுக்கோ, அன்றி அதனைப் பின்பற்றிச் செல்லும் மற்றக் கப்பல்களுக்கோ வழியில்லாதபடி பனிக்கட்டி அடைத்து மூடிக் கொண்டது. இப்போது இன்னொரு புகைப் படத்தைப் பாருங்கள்: பனிக்கட்டிப் பரப்பைச் சுற்றி ஒரு மெல்லிய வெண்ணிறக் கோடு நெளிந்து செல்வதைக் கவனியுங்கள். ரேடாரின் உதவி கொண்டு கண்டறியப்பட்ட இந்தப் பாதை வழியே ''கீவ்'' கப்பல் ஏனைய கப்பல்களுக்கு வழியமைத்து அவற்றை மூடுபனியினிடையே அங்கிருந்து அழைத்து வந்தது.

மற்றும் ஓர் உதாரணம். 1969ஆம் ஆண்டு கோடையில் துருவ வட்டத்தினுள் யூரால் (Ural) பகுதியில் இடைவிடாது பல வாரங்களாய் மழை பெய்தது; விமானங்கள் பறந்து வானத்திலிருந்து படங்கள் எடுக்க முடியாமற் போனதால் இப்பகுதியில் இயற்கை வள ஆய்வுக் குழுவினர் பயணம் புரிய முடியவில்லை. முடிவில் ரேடார்தான் அவர்களுக்கு உதவி புரிந்தது. ''பனிக்கட்டித் திரள்'' ரேடார் சாதனத்தை எடுத்துக் கொண்டு AN-24 விமானம், வோர்கூடா விமான நிலையத்திலிருந்து கிளம்பி, மழை மேகங்களுக்கு மேல் பறந்து, தனது ரேடார் அலைகளைக் கொண்டு கீழே பார்வையைச் செலுத்தியது. மலைச் சுருக்கங்களுடன் கூடிய யூராலின் கடு

கடுப்பான முகத் தோற்றம் படச் சுருளில் பதிவு செய்யப்பட்டது. இயற்கை வள ஆய்வுக் குழுவினரான புவியியாளர்கள் தம் கண்களையே நம்ப முடியவில்லை—நல்ல வானிலையில் விமானத்தில் பறந்து புகைப் படம் பிடிப்போருங்கூட இவ்வளவு தெளிவான, கூர்மையான படங்களை இது காறும் பிடித்துத் தந்ததில்லையே என்று அவர்கள் வியந்து கொண்டனர்.

ரேடாருடன் கூடிய AN-24 விமானம், பெர்ரிங் கடலில் பனிக்கட்டிகளிடையே சிக்கிக் கொண்ட மீனவர்களுக்கு வழிகாட்டி அவர்களை மீட்டது. துருக்மேனியாவில் இவ்விமானம் தரைக்கடியில் அமைந்த நீர் ஊற்றுகளைக் கண்டுபிடித்து உதவியது. ரயில் பாதை அமைப்போர் தமது ஆக்கத் திட்டங்களுக்கு வேண்டிய பாதைகளை நிர்ணயிக்க உதவும்படி இந்த விமானத்தை வேண்டினர்.

ஆக, ரேடாரானது மெச்சத் தக்க முறையில் பூமியில் பணி புரிந்துள்ளது. தனது முழு ஆற்றலையும் வெளிப்படுத்திக் காட்ட பூமி போதாதென இப்போது அது நினைக்கிறது. ரேடாரானது புற வெளியினுள் அடியெடுத்து வைக்க வேண்டிய காலம் வந்து விட்டது.

விண்வெளியில் ரேடார்

1946ல் ஹங்கேரியிலும் அமெரிக்க ஐக்கிய நாட்டிலும் ரேடார் ஊழியர்கள் நிலவிலிருந்து எதிரடிக்கப்பட்ட ரேடார் அலைகளை முதன் முத

லாய்த் தமது ஏற்பிகளில் கிடைக்கச் செய்தனர். அதன் பிறகு பூமியின் துணைக்கோள் பல தரம் ரேடாரால் ஆராயப்பட்டுள்ளது. பூமிக்கும் நிலவுக்கும் இடையே உள்ள தூரத்தினைத் துல்லிதமாகக் கணக்கிடுவதற்கு உதவியதுடன், நிலவின் அமைப்பையும், அதனுடைய மேற்பரப்பையும் பற்றிய பல கருதுகோள்களைச் சோதித்துப் பார்ப்பதற்கும் ரேடார் துணை புரிந்துள்ளது. சோவியத் நாட்டின் தானியங்கி விண்கலனும், அமெரிக்க நாட்டின் விண்வெளி வலவர்களுடன் கூடிய அப்போலோ விண்கப்பலும் நிலவில் பத்திரமாக இறங்குவதற்கு இந்தத் தகவல்கள் எவ்வளவு உதவியாய் இருந்தன என்பதை ஊகித்துக் கொள்ளலாம்.

1961ல் சோவியத் நாட்டின் விஞ்ஞானிகளும், மற்றும் அமெரிக்க, பிரிட்டிஷ் விஞ்ஞானிகளும் வெள்ளிக் கொளிலிருந்து (Venus) எதிரடிக்கப்பட்ட ரேடார் அலைகளைப் பெற்று சோதனை நடத்தினர்.

சோவியத் செய்தியேடுகளில் இந்தச் சோதனையைப் பற்றிய செய்தி விவரங்கள் வெளிவந்தன; இச்சோதனைக் குழுவினருக்குத் தலைமை தாங்கிய பேரவை விஞ்ஞானி வி. கொத்தெல்நிக்கவுக்குக்கு இதற்காக லெனின் பரிசு வழங்கப்பட்டது.

பிறகு 1961ல் செவ்வாய் கோளும் (Mars) வியாழக்கோளும் (Jupiter) ரேடார் மூலம் ஆராயப்பட்டன. வியாழனுக்கும், பூமிக்கும் இடையே உள்ள தூரம் 1, 200, 000, 000 கி. மீ. ஆகும்; ரேடார் அலை பூமியிலிருந்து வியாழனுக்குச் சென்று, அங்கிருந்து திரும்பிப் பூமியை அடைய 66 நிமிடம்

ஆகிறது. எதிரடிக்கப் படும் வலிமையற்ற அலையினைப் பயனுடையதாக்குவதற்கு இருபது மணி நேரத்திற்கு மேல் திரட்டிச் சேமித்தாக வேண்டும். நெடுந் தொலைவில் இருக்கின்ற கோளினை ரேடாரின் திரையிலே தெரியச் செய்ய எவ்வளவு முயற்சி எடுத்தாக வேண்டும் என்பதை இனி நீங்களே ஊகித்துக் கொள்ளலாம். ஆயினும் சோவியத் விஞ்ஞானிகளால் எல்லாப் பிரச்சினைகளுக்கும் தக்கத் தீர்வு காண முடிந்தது.

பிறகு அமெரிக்க ரேடார் நிபுணர்களும், வானியலாளர்களும் சூரியனிலிருந்து ரேடார் சைகைகளை எதிரடிக்கச் செய்தனர். திரும்பி வந்த வலுவற்ற சைகைகளை 17 நிமிடங்களுக்குத் திரட்டிச் சேமிக்க வேண்டியிருந்தது. ஒரு நொடியில் மில்லியனில் ஒரு பகுதி அளவில் நேரம் கணக்கிடப்படுகின்ற ரேடாருக்கு மேற்கூறிய நேரம் மிகவும் அதிகமே. சூரியனிலிருந்து வருகின்ற ரேடியோ அலைகளையும் சூரியனைச் சுற்றியுள்ள ''கொரோனு'' என்றழைக்கப்படும் ஒளிவட்டப் பகுதியில் பொருளின் இயக்கத்தையும், சூரியப் புயலின் (solar wind) வேகத்தையும்பற்றிய விவரங்கள் இந்த ஆராய்ச்சியின் மூலம் தெரிய வந்துள்ளன.

விண்வெளி ஆராய்ச்சித் துறையில் நடைபெறுகின்றவற்றைக் கவனித்து வரும் இத்துறையில் ரேடார் ஆற்றுகின்ற முக்கிய பணியை நன்கு அறிந்து கொள்ளலாம். விண்வெளியில் ஒரு குறிப்பிட்ட பாதையில் விண்கப்பலைச் செலுத்துவதும், செயற்கைத் துணைக் கோள்களது சுழற் பாதையினைக் கவ

ளித்து வருவதும், விண்வெளி வலவர்கள் செல்லும் விண்கப்பல்களைப் பத்திரமாகத் தரையில் இறங்கச் செய்வதும்; நிலத்திலும், நீரிலும் வந்திறங்கும் விண் கலனைத் தேடுவதும், ரேடார் புரிந்து வரும் பணிக ளில் ஒரு சிலவே ஆகும். விண்வெளியில் சந்திப்புக்கு ஏற்பாடு செய்தல், கப்பல்களது இணைப்புக்கான நடவடிக்கைகள், நிலவினை அப்பாலோ போன்ற விண்கப்பல்கள் சுற்றி விட்டுத் திரும்பி வருதல் முத லான பலவும் ரேடாரின் சிறந்த செயல் திறனை நிரூ பித்துக் காட்டியுள்ளன.

1970ல் சோவியத் நிலவு ஆய்வுக்கலன் நிலவிலி ருந்து கற்களைப் பூமிக்குச் கொண்டு வந்து தந்தது. குற்றங்குறையின்றி அவ்வளவு கருராய் இந்தக் கலன் அதற்குரிய சுழற் பாதையில் செலுத்தப்பட்டு, அதன் விண்வெளிப் பயணம் அவ்வளவு துல்லியமா கக் கட்டுப்பாடு செய்யப்பட்டு, நிலவில் துறப்பணக் குடைவு வேலைகள் நடத்தப்பட்டு, லூனு—16 திரும் பவும் பூமிக்கு வந்து சேர்ந்ததானது, அந்த விண் வெளிச் சோதனையைக் கவனித்து வந்தோர் அனை வரையும் திகைக்கச் செய்த அரிய சாதனைகளாகும். கருத்துரைகள் வெளியிடுவதில் வழக்கமாய் மிகவும் கண்டிப்புடன் இருப்போரான விஞ்ஞானிகளுங்கூட இந்தச் சாதனைகள் குறித்து செய்தியேடுகளிலும் சஞ்சிகைகளிலும் கட்டுக்கடங்காத ஆர்வத்துடன் மெச்சிப் புகழ்ந்தார்கள்.

இந்தச் சிறப்பில் ஒரு பெரும் பகுதி ரேடாருக்கு உரியதாகும். இதன் துணை கொண்டுதான் லூனு-16 கலனை அதற்குரிய பாதையில் பயணக் கண்கா

ணிப்பாளர்கள் வழிநடத்தினர். ரேடார் மூலம் கிடைக்கப் பெற்ற விவரங்கள்தான், கலனின் பறத்தலின் போது செய்யப்பட்ட திருத்தங்களுக்கு அடிப்படையாய் அமைந்தன. ரேடியோ உயரமானிதான் இக்கலன் நிலவின் பரப்பில் பத்திரமாய்த் தரையிறங்கவகை செய்தது. ரேடார்கள்தான் இக்கலனை நிலவை நோக்கி சரிவர புறப்பட்டு அங்கே போய்ச் சேர வைத்தன; கலன் அங்கிருந்து பூமியை நோக்கித் திரும்பி இங்கு வந்து சேர உதவின; இங்கே நல்லபடி தரையிறங்குவதற்கு வழிகாட்டின. இந்த மாபெரும் சோதனை கண்ட வெற்றி ரேடாரின் பிரமாத வெற்றியாகவும் அமைந்தது.

விண்வெளிச் சகாப்தத்தில் வாழ எல்லாரும் இன்று மேலும் மேலும் பழக்கம் பெற்று வருகிறார்கள். விண்வெளியில் செலுத்தப்பட்டிருக்கும் ''காஸ்மாஸ்'' துணைக் கோள்கள் இன்று மூன்று இலக்க எண்ணில் குறிக்கப்படுகின்றன, இன்று இவை செலுத்தப்படுவது பற்றிய செய்திகளைத் தலைமையான செய்தியேடுகள் மூன்றாவது அல்லது நான்காவது பக்கத்துக்குரிய சாதாரண செய்தியாய் வெளியிடுகின்றன. விண்வெளி வலவர்களைக் கொண்ட விண்வெளிக் கப்பல் இன்று செலுத்தப்படுகையில், இதைப் பற்றிய் செய்தியுரை ''வேலைக்காக விண்வெளிக்குப் புறப்பாடு'' என்று மிகக் சாதாரணத் தலைப்பிட்டுச் செய்தியேடுகளில் வெளியாகிறது. ''வேலை'' என்ற அன்றாடச் சொல்லுடன் இணைக்கப்பட்டு ''விண்வெளி'' என்னும் சொல் அதன் விந்தையையும் கவர்ச்சியையும் இழந்து வருகிறது. பூமிக்கு

அருகிலுள்ள விண்வெளி மனிதனது வேலையிடமாகி வருகின்றது. வலவர்கள் இல்லாத ஆய்வுக் கலன்கள் தாம் சூரிய மண்டலத்தின் பிற கோள்களை நோக்கிச் சென்று ஆய்வுகள் நடத்துகின்றன. பூமியை ஒட்டிய விண்வெளிச் சுழற்பாதைகளில் மனிதன் பற்றவைப்பு தீப்பொறிகளை எழுப்பி வேலை செய்கிறான். ''லுனு ஹோட்'' வாகனங்கள் நிலவின் பரப்பில் மும்முரமாய் வேலை செய்கின்றன. புவிவாசிகளாகிய நமக்குப் பழக்கமான உறுப்புகளையும் விஞ்ஞானப் புதினங்களது ஆசிரியர்களது கற்பனைத் திறனைக் காட்டுகிறவை போல் அமைந்து உறுப்புகளையும் சேர்த்து உருவாக்கப்பட்டுள்ள இந்த வாகனங்கள் நிலவின் பாறைகளை உடைத்து அவற்றின் இயற்பியல் பண்புகளை ஆராய்கின்றன, இந்தப் பாறைகளை வேதியியல் பகுத்தாய்வு செய்கின்றன, நிலவின் மேல் பரப்பினது அமைப்பை ஆராய்ந்து அறிவிக்கின்றன.

விண்வெளியில் ரேடார் என்ன செய்கிறது? ரேடாரின் உதவியின்றி எதுவும் விண்வெளியினுள் செலுத்தப்பட முடியாது என்பதை நாம் கண்டோம். ரேடாரின் பணி இத்துடன் முடிந்து விடவில்லை. விஞ்ஞான ஆராய்ச்சிக்கு மட்டுமின்றி, பல சாதாரணப் பணிகளுக்காகவும் உடனடி வருங்காலத்தில் விண்வெளிச் சுழற்பாதைக் கலன்கள் ரேடார்களைச் சுமந்து செல்லும். விண்வெளியில் ரேடார்கள் புரியக் கூடிய பணிகளைச் சுருக்கமாய்ப் பின்வருமாறு குறிப்பிடலாம்:

1. பயிர்த் தொழிலிலும் வனத் துறையிலும்: தாவர வளர்ச்சியின் அடர்த்தி, காடுகளின் பரப்

பீடு, புல்வெளிகள், வயல்களின் பரப்பீடு, மண் வகைகளை இனங்காணுதல், மண் பரப்பின் வெப்ப நிலை, ஈரப்பதம், நீர்ப்பாசனத் திட்டக் கண்காணிப்பு, காட்டுத் தீயைக் கண்டறிதல்.

2. புவியியல்: நிலத்தின் பயன்பாட்டில் காணக்கூடிய போக்குகள், போக்குவரத்தும் செய்தித் தொடர்பும் புவிப்பரப்பில் வினியோகமாகியிருத்தலும் அவற்றின் நிலையும், இயற்கை வளங்களைக் கண்டறிதலும் பயன்படுத்துவதும், இட இயல்பு விளக்கம், நில இயல் ஆய்வு.

3. புவி ஆய்வுத் துறையில்: பாறைகளைப் பற்றியும், வண்டல் படுகைகளின் அடுக்குகளைப் பற்றியும் ஆராய்தல், கனிப் பொருள்களின் படிவுகளைக் கண்டறிதல், இயற்கை வள ஆய்வுக்கும் பயன்பாட்டுக்குமான புது முறைகளை உருவாக்குதல்.

4. நீர்ப்பண்பு ஆய்வில்: ஈரம் ஆவியாக மறைவது பற்றிய ஆய்வுகள், மழை—பனியின் வினியோகமும் ஊடுருவலும், தரைக்கடியில் நீரின் ஓட்டம் பற்றிய ஆய்வுகள், நீர்ப் பரப்புகள் அசுத்தமாதல், தூள்ப்பனி—கட்டிப்பனிக் கவசத்தின் வினியோகம், முக்கிய ஆறுகளைக் கண்காணித்தல்.

5. சமுத்திரவியலில்: கடல்களின் அடிப்பரப்பு உருவ ஆய்வுகள், கடற்கரைகளைப் படம் வரைதல், கடல் உயிரியல் நிகழ்வுகளைக் கண்காணித்தல், பனிக் கட்டிப் பரப்புகளைக் கண்டு அறிவித்தல்.

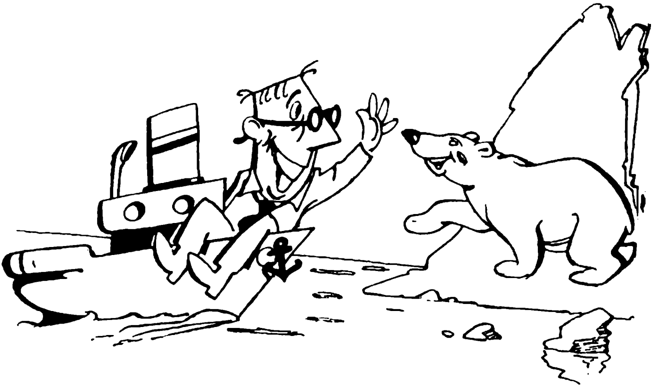
மேலே கூறப்பட்ட ஆய்வுகளுக்குரிய விண்வெளி ரேடார் அமைப்புகளைத் தற்போது வரையறுத்துச் சொல்வதற்கில்லை. ஆனல் அவை ஆற்றப் போகும்

பணி மிகப் பெரிது என்பது தெளிவாகவே விளங்குகிறது.

மேலே பட்டியலிடப்பட்டுக் காட்டப்பட்டிருக்கும் பணிகளிலிருந்து ரேடாரோடு ஏதேனும் ஒரு வழியில் தொடர்புடையவர்களாய் இருப்போரின் எண்ணிக்கை எவ்வளவு பெரிது என்பதை நீங்கள் ஊகித்துக் கொள்ளலாம். ரேடார் என்பது என்ன, எப்படி அது செயல்படுகிறது, இனி அது செய்யப் போவது என்ன என்பதை அறிந்த ரேடார் நிபுணர்களின் படை மிகப் பெரிய படையாகும். இவர்களை விடப் பன்மடங்கானேர் ரேடாரோடு தொடர்பு கொண்டிருக்கிறேம் என்பதை உணராமலே நாள் தோறும் அதனுடன் உறவு கொள்கிறர்கள்.

நம்மை விட்டுப் பிரியாதது

நீங்கள் சொல்ல நினைப்பதை நான் அறிவேன். இராணுவத்துடனே, விஞ்ஞானத்துடனே உறவில்லாதவராகவே இருக்கலாம் நீங்கள். ஆயினும் ரேடாருடன் எந்நேரமும் நீங்கள் உறவு கொண்டவர்தான். நீங்கள் என்ன செய்தாலும், எங்கே இருப்பினும் எப்போதும் ரேடார் உங்களை விட்டுப் பிரியாமல் உங்கள் அருகேதான் இருக்கிறது. நம்பவில்லையா நீங்கள்? கொஞ்சம் பொறுமையாய் இருங்கள், கற்பனையைச் சற்றுச் செயல்படச் செய்யுங்கள், நான் சொல்வது மெய்தான் என்பது தெரிய வரும்.



ஒவ்வொரு ஆண்டும் விடுமுறைக் காலங் குறித்துச் சிந்திக்க வேண்டிய நேரம் வருகிறது. சிலர் முன்னேற்பாடுகள் இல்லாமல் தமது சொந்த வசதிகளைக் கொண்டே உல்லாச விடுமுறைக்கு வகை செய்து கொள்கிருர்கள். ஏனையோர் (எப்படியும் சோவியத் நாட்டில்) விடுமுறையை அனுபவிப்பதற்கான வசதிகளைப் பெறுவதற்குத் தமது தொழிற்சங்கங்களின் உதவியை நாடுகிருர்கள். இங்கு உங்களுக்கு நான் அறிமுகம் செய்து வைக்கும் என் நண்பன் விக்தர் இரண்டாவது வகையைச் சேர்ந்தவர். உல்லாச விடுமுறைக்கு வேண்டிய ஏற்பாடுகளை இவர் முன் கூட்டியே திட்டமிட்டுச் செய்து கொண்டார். சோவியத் நாட்டினர் உல்லாச விடுமுறை பெற என்ன செய்கிருர்கள்? கருங் கடலின் கரையில் அமைந்த ஓய்வு விடுதிகள் அல்லது ஆரோக்கிய நிலையங்களில் தங்கி விடுமுறையைக் கழிப்பது சில ஆண்டுகளுக்கு முன்பு

வரை எல்லோராலும் மிகச் சிறந்த ஓர் ஏற்பாடாகக் கருதப்பட்டது. ஆனால் இப்போது இந்த வெப்பத் தென்திசை உல்லாச விடுமுறை இடங்களில் நெரிசல் அதிகமாகி விட்டதென்று, ஆரோக்கிய விடுமுறை வசிப்பிட நிர்வாகத்தினர் திரளான விடுமுறையாளர்களைக் குளிர் மண்டலமான வடதிசையில் அமைந்த அதியற்புத புதிய உல்லாச இடங்களுக்கு அனுப்ப முற்பட்டுள்ளனர். வட கடல்களிலான உல்லாசப் பயணங்களும், ஸ்பிட்ஸ்பர்ஜனுக்குச் சென்று விடுமுறையைக் கழிப்பதும், இன்ன பிறவும் இன்று பலராலும் விரும்பப்படும் புதிய விடுமுறை ஏற்பாடுகளாகியுள்ளன. ஆகவே கிரீன்லாந்தில் கண்கவர் பகுதியில் கவிதை நயமுள்ள தூலே என்னும் பெயருடைய இடத்தில் அமைந்த சர்வதேச ஓய்வு விடுதியில் இடம் கிடைத்ததும் விக்தர் மட்டற்ற மகிழ்ச்சியடைந்ததில் வியப்பில்லை. அங்கே நல்ல முறையில் ஓய்வு பெற்று பழுத்த மேனியுடன் உற்சாகம் மிக்கவராகத் திரும்பி வந்தார் தொடர்ந்து ஒரு வாரத்துக்கு ஓயாமல் அவர் தமது உல்லாச விடுமுறை குறித்து எங்களிடம் திரும்பத் திரும்பச் சொல்லிக் கொண்டிருந்தார். அவர் கூறியதை ஏறத்தாழ அவரது சொற்களிலேயே இங்கு திருப்பிச் சொல்கிறேன்.

கிரீன்லாந்துப் பயணம்

''என்னால் நம்பவே முடியவில்லை! தூலேயில் எனக்கு இடம் கிடைக்குமெனக் கடைசி நேரம் வரை நான் நினைக்கவே இல்லை. பிறகு கிடைத்ததும் எதற்

கும் எனக்கு நேரம் இல்லை. ஒரு ஜோடி காலுறைக ளையும் இரண்டு, மூன்று சட்டைகளையும் ஒரு சூட் டையும் மின்சார சவரப் பொறியையும் இரவு உடுப் புக்களையும் ஒரு கைப்பெட்டியில் எடுத்து வைத்துக் கொண்டு அவசரமாய் வீட்டுக் கதவை இழுத்துப் பூட்டி விட்டுத் தெருவுக்கு ஓடினேன். அதிர்ஷ்டவச மாக வாடகைக் கார் ஒன்று பக்கத்து வீட்டருகே வந்து நின்றது. அதிலிருந்து ஒரு முதியவர் இறங்கி ஞர்—கையில் மகாகனி மரத்தாலான கைத்தடி வைத்திருந்தார். கறுப்புக் கண்ணுடி போட்டிருந் தார். காரிலிருந்து இறங்கியதும் அவர் வீட்டுக்குள் சென்ருர். சவாரி ஏற்றிக் கொள்ள தயார் என்பதைக் குறிக்கும் பச்சை விளக்கு காரில் எரியக் கண்ட நான் அதனிடம் ஓடினேன்.

''விமான நிலையம்—நேரமில்லை, தயவு செய்து வேகமாய் ஓட்டுங்கள்'' என்று தோல் கோட்டு போட்டிருந்த டிரைவரிடம் சொல்லிவிட்டு மூச்சை உள்ளுக்கு இழுத்தேன். விமானப் பயணச்சீட்டு என் பையில் இருந்தது. கைப்பெட்டி எனக்குப் பக்கத் தில் இருந்தது— யாவும் நல்லபடியாகவே அமைந்து விட்டதாய் நினைத்தேன்.

''என் மீது பரிவு கொண்டோ, அல்லது நிறைய இனும் தருவேன் என்று நினைத்தோ டிரைவர் வேக விசையை அழுத்திச் சாலை விதிகள் குறித்து அதிகம் கவலைப்படாமல் வண்டியை அதிவேகமாய் விட்டுச் சென்ருர். இம்மாதிரியான சந்தர்ப்பங்களில் வழக்க மாய் நடைபெறுவதுதான் இப்போதும் நடைபெற் றது—போக்குவரத்துக் காவல் துறையினர் விழிப்பு

டன் செயல்பட்டனர். காவல் துறையினரது நீலமும் மஞ்சளுமான வோல்கா கார் எங்களைக் கடந்து முன்னுல் சென்று எங்களைச் சாலை ஓரத்தில் வந்து நிற்கச் செய்தது. அபராதம் கட்டியாக வேண்டும்—ஆனுல் அது என் காரியமல்ல என்பதால் நான் அதைப் பெரிதாய் நினைக்கவில்லை, நேரத்தில் விமான நிலையம் போய்ச் சேர வேண்டும் என்பதே எனக்கு முக்கியமாகப் பட்டது. தரைக்கடியிலான இருண்ட பாதையினுள் புகுந்து விர்ரேனப் பறந்து அகன்ற நெடுஞ்சாலையை வந்தடைந்தோம், பிறகு இரண்டு மூன்று குடியிருப்புக் காலனிகளையும் சில திருப்பங்களையும் கடந்து விமான நிலையக் கட்டிடத்தின் எதிரே வந்து நின்றோம். எப்படியோ ஒரு விதமாய் வந்து சேர்ந்து விட்டேன்! பயணிப் படிக்கட்டில் இரண்டு இரண்டு படிகளாகத் தாவியேறி விமானத்துள் புகுந்து மிருதுவான மெத்தை நாற்காலியில் அமர்ந்தேன். விமானம் புறப்பட்டு மேலே எழுந்து, விமான நிலையத்தின் மீது தனிவாகக் கவிந்திருந்து மேகங்களுள் புகுந்து மேலே நீல வான வெளியை அடைந்தது. உடனே விமானத்துள் ஒளி தகதகத்தது, பயணிகளது உள்ளத்துள் ஆனந்த அமைதி குடி கொண்டது. எங்கள் விமானம் பறக்க வேண்டிய நேரம் பறந்து இறங்க வேண்டிய இடம் வந்ததும் மிருதுவாகத் தரையில் இறங்கி விமான நிலையக் கட்டிடத்துக்கு அருகே வந்து நின்றது. திரும்பவும் நான் வாடகைக் காரில் ஏறித் துறைமுகப் பட்டினத்துள் நுழைந்து பல கட்டிடங்களைக் கடந்து துறைமுகத்தை அடைந்தேன். ஒரு துறையில் நின்ற எங்கள் கப்பல் தொலை

விலிருந்து பார்க்கையில் பனிப் பாறை போல் தெரிந்தது. நெருங்கிச் சென்றதும் கிளறி விடப்பட்ட எறும்புப் புற்றைப் போல் தோன்றியது. அதனுள் ஏறி என் அறையினுள் பெட்டியை வைத்து விட்டு அமர்ந்தேன், உடனே கப்பலும் புறப்பட்டது. துறையிலிருந்து கப்பல் கிளம்புவதைப் பார்ப்பதற்காக மேல் தளத்துக்குச் சென்றேன். நான் விடை பெற்றுக் கொள்ள அங்கே யாரும் இல்லையென்ருலும், எல்லோரையும் போல் நானும் கரையிலே நின்றவர்களைப் பார்த்துக் கையை வீசிக் காட்டினேன். ஏனைய கப்பல்களுக்கு இடையே மெல்லத் திரும்பி நகர்ந்து எங்கள் கப்பல் கடலுக்குள் சென்றதைக் கவனித்துக் கொண்டு நின்றேன். பிறகு வேகம் அதிகரித்தது, கடல் அலைகளது சந்தத்துக்கு இசைவாய் எங்கள் கப்பலும் அசைந்து முனகியது. பயணிகளது பரபரப்பு அடங்கியது. பிறகு ஒலிபெருக்கிகளிலிருந்து அறிவிப்பு முழங்கியது: ''சாப்பிடலாம், வாருங்கள்!'

சாப்பிட்டு முடிந்ததும் உலவுவதற்காக மறுபடியும் நான் மேல் தளத்துக்குச் சென்றேன். ஆனுல் உலாவ முடியவில்லை, கனத்த மூடுபனி கடற் பரப்பின் மீது கவிந்து விட்டது. எதையும் பார்க்க முடியவில்லை. சரி, ஒன்றும் செய்வதற்கில்லை, போய்ப் படுத்துறங்க வேண்டியதுதான் என்று என் அறைக்குத் திரும்பி வந்து படுத்துக் கொண்டேன். சென்றடைய வேண்டிய இடத்துக்குப் பொழுது விடிந்ததும் போய்ச் சேர்ந்து விடலாம். கப்பல் இயந்திரங்களது அமைதியான இசைச்சல் தட்டிக் கொடுக்க உறக்கத்தில் ஆழ்ந்து விட்டேன்.

மறுநாள் காலையில் விழுத்தெழுந்ததும் கிரீன்லாந் தின் எழில் மிக்க கரை கண்ணுக்கு விருந்தளித்தது (ஆம், எழில் மிக்கதுதான் அது). காலையிலேயே கரையை அடைந்து எங்கள் ஓய்வு விடுதிக்குப் போய்ச் சேர்ந்தோம். வானிலை நன்ருயிருந்தது, சுவையான சாப்பாடு கிடைத்தது, பலரும் நண்பர் களாகி விட்டனர். மாலைதோறும் தவருமல் துருவ ஒளியினைப் (polar light) பார்த்தேன். அக்காட்சி மெய்சிலிர்க்கும் காட்சி, எத்தனை தரம் பார்த்தா லும் மெய்சிலிர்க்கச் செய்வதாகவே இருக்கும். விசித்திரமான வடிவில் அருகாமையில் காணப்பட்ட பெரிய கட்டிடங்களாலுங்கூட அதன் அழகைக் கெடுக்க முடியவில்லை. அந்தக் காட்சிக்கு இவை பின்னணியாகவே அமைந்தன. அந்தக் கட்டிடங்க ளில் ஆராய்ச்சிக் கூடங்கள் அமைந்திருப்பதாகச் சொன்ஞர்கள். துருவ ஒளியைப் பற்றிய எனது உணர்ச்சிகளைச் சொல்கிறேன் கேளுங்கள்...

விக்தர் ஆனந்த பரவசத்துடன் துருவ ஒளியின் கவர்ச்சியையும் விந்தையையும் விவரித்துக் கூறி ஞர். துருவ ஒளியின் முழுச் சிறப்பும் வெளிப்படும் படி இது வரை யாராலும் விவரிக்க முடியவில்லை, ஆகவே விக்தர் கூறியதை நான் திருப்பிச் சொல்ல வேண்டியதில்லை. நமது ரேடாரிடம் நாம் திரும்பிச் செல்வோம். அதனிடமிருந்து உங்களை எங்கோ நெடுந் தொலைவுக்கு அழைத்துச் சென்றுவிட்டதாய் நினைக்காதீர்கள்.

இப்போது விரிவாகக் கூறப்பட்ட கதைக்கும் ரேடாருக்கும் என்ன சம்பந்தம் என்றுதானே கேட்

கிறீர்கள்? ரேடாரைப் பற்றி ஒரு வார்த்தைகூட கூறப்படவில்லையே என்று சொல்கிறீர்கள்? மேம் போக்காய்ப் பார்க்கையில் அப்படித்தான் நினைக்கத் தோன்றும். உண்மையில் ஒவ்வொரு நிகழ்ச்சியிலும் ரேடாருக்கு முக்கிய பங்கு உண்டு. விக்தரின் பய ணத்தைத் திரும்பவும் நினைத்துப் பாருங்கள். ஒவ் வொரு நிகழ்ச்சியிலும் ரேடார் நம் முன்னால் வந்து நிற்பதை நான் சுட்டிக் காட்டுகிறேன்.

விக்தர் அமர்த்திக் கொண்ட வாடகைக் காரிலி ருந்து ''ஒரு முதியவர் இறங்கினார்—கையில் மகா கனி மரத்தாலான கைத்தடி வைத்திருந்தார், கறுப் புக் கண்ணாடி போட்டிருந்தார்'' என்று சொன் னேன். வரிசையாய் விரலை விட்டு நீங்கள் எண்ண முற்பட வேண்டும். இந்த முதியவருக்குக் கண் சரி யாய்த் தெரியாது. அவர் கையிலிருந்த கைத்தடி யில் ரேடார் பொருத்தப்பட்டிருந்தது—குருடருக்கு வழிகாட்டும் ரேடார் பொறி அது. பாதையின் குறுக் கே இருக்கும் தடைகளின் தொலைவை அது கணித் துக் கூறி, பார்வையில்லாதவருக்கு உதவுகிறது. போற்றத்தக்க சேவை அல்லவா இது? இதன் எடை இரண்டு கிலோகிராம்தான், திறம்பட வேலை செய்து உதவுகிறது. இது போன்ற ரேடார் வழிகாட்டியை மூக்கு கண்ணாடியிலும் பொருத்திக் கொள்ளலாம். நியூஜிலாந்தைச் சேர்ந்த திரு ஸ்பிவாக் என்பவர் தான் இத்தகைய கண்ணாடி போட்டுக் கொண்ட முதலாவது குருடர். மூக்குக் கண்ணாடியில் பொருத் தப்பட்ட மூன்று நுண்ணிய ரேடார்கள் வழியிலுள்ள

தடைகள் குறித்து ஒலி எழுப்பி எச்சிரிக்கை செய்கிறது.

அளவு மீறி வேகமாகக் காரை ஓட்டியதற்காக டிரைவர் அபராதம் செலுத்த வேண்டியதாயிற்று என்று சொன்னேன். இரண்டாவது விரலை மடக்கிக் கொள்ளுங்கள். ஏனெனில் காவல் துறையினரது வோல்கா காரில் சாலையிலே செல்லும் வண்டிகளின் வேகத்தைக் கணிக்கும் டாப்ளர் ரேடார் இருந்தது. கூடிய விரைவில் எல்லாப் போக்குவரத்துக் காவல் குழுவினரும் இம்மாதிரி ரேடாரைப் பெற்று விடுவார்கள். ஆகவே வேக எல்லையை மீறுகிறவர் எவரும் இனி தப்பிக்க முடியாது! மாஸ்கோவிற்குச் செல்லும் எல்லாச் சாலைகளிலும் ''கவனம், போக்குவரத்து ஹெலிகாப்டர்களாலும், ரேடார்களாலும் கண்காணிக்கப்படுகின்றது'' என்ற அறிவிப்புகள் உள்ளன. சாலைகளில் ஒழுங்கைப் பராமரிக்கவும் விபத்துகளைத் தவிர்க்கவும் காவல் துறையினர் இன்று நவநவீன கருவிகளையும் சாதனங்களையும் வைத்திருக்கிறார்கள்.

மாஸ்கோ சுற்று வட்டாரங்களில் போக்குவரத்தைக் கண்காணிக்க KA-26 ஹெலிகாப்டர்கள் உபயோகிக்கப்படுகின்றன. ஹெலிகாப்டர் விமானிக்குப் பக்கத்தில் போக்குவரத்துக் காவல் துறை அதிகாரி அமர்ந்திருக்கிறார். ஹெலிகாப்டரின் இறக்கைகளுக்கு அடியில் இணைக்கப்பட்டுள்ள புகைப்பட, திரைப்பட காமிராக்களையும் ஒலிக் கருவிகளையும் இயக்குகிறார். ரோந்து சுற்றும் போக்குவரத்துத் துறை வோல்கா கார்களுடன் தொடர்பு கொள்ளத்

தனி ரேடியோ அமைப்பு உள்ளது. சாலேயில் கார்களின் வேகத்தினைக் கணிக்கும் ரேடார்க் கருவிகள் ஹெலிக்காப்டர்களிலும் கார்களிலும் இருக்கின்றன. வரையறுக்கப்பட்ட வேகத்தினை யாரேனும் மீறினால், ரேடார் திரை அதனைக் காட்டும், அதோடு இந்த ரேடார் ஒலிக் கருவியையும் விளக்கையும் செயல்படச் செய்யும். ஹெலிகாப்டர்கள் தணிவாய்ச் சாலேகளின் மீது பறந்து ரோந்து சுற்றி வருகின்றன. எங்காவது விபத்து நேருமாயின் உடனே இவை சுற்றி வரும் காவல் துறையினருக்கு அழைப்பு விடுகின்றன. தேவைப்பட்டால் இவ்விமானங்களும் கீழே இறங்கி, விபத்துக்கு உள்ளானேருக்கு முதலுதவி செய்வதோடு அவர்களை மருத்துவ மனைக்குக் கொண்டு போய்ச் சேர்க்கின்றன.

சாலேயில் ஒழுங்கைப் பராமரிப்பதோடு வானிலே மோசமாகிவிடும் நேரங்களில் கார் டிரைவர்களுக்கு ரேடார் உதவியும் புரியக் கூடியவை. ஃபிலிப்ஸ் ஆராய்ச்சி நிலேயத்தினர் கார்களில் பொருத்தக்கூடிய நுண் அலே ரேடாரை அண்மையில் செயல்படுத்திக் காட்டினர். மழையாலும் மூடுபனியாலும் அடர்த்தியான வெண்பனியாலும் எந்த நிலேமையிலும் 60 மீட்டர் தொலேவுக்குச் சாலேயையும் அதில் ஓடுகின்ற வாகனங்களையும் நிலேப் பொருள்களையும் இந்த ரேடாரின் திரையில் டிரைவர் தெளிவாகக் காண முடிகிறது. காரினைப் பத்திரமாக ஓட்டிச் செல்ல முடியும்.

காரை ஓட்டிச் செல்லும் போது களைப்பாலோ, கவனக் குறைவாலோ, போதிய அளவு திறமை இல்

லாமையாலோ விபத்து நேராமல் பாதுகாத்துக் கொள்வதற்காக, காரின் பிரேக்கைக் கட்டுப்படுத்தக் கூடிய ரேடார் ஒன்றும் தயாரிக்கப்பட்டிருக்கிறது. இவ்வகை ரேடார் பொறி அமெரிக்காவில் விற்பனைக்கு வந்துள்ளது. இதில் இரு வகைகள் உள்ளன. ஒன்று நெடுஞ்சாலைகளில் செல்கையில் பயன்படக் கூடியது; மற்றொன்று நகரத்துக்குள் செல்கையில் சாலையில் அமைந்த தடையிடமிருந்து 50 மீட்டர் தொலைவுக்கு அப்பால் இந்த ரேடாரைக் காரின் வேகத்தைக் குறைந்து விடுகிறது; இரண்டு அல்லது மூன்று மீட்டர் தூரத்தில் காரை நிறுத்தி விடுகிறது. நகரத்திற்குள் செல்லும் போது காரின் வேகத்தினை ஒரு மணிக்கு 40 கிலோமீட்டருக்கு அதிகமாகாமல் ஒழுங்கு இயக்குகிறது; குறுக்கிடும் தடையிடமிருந்து 9 அல்லது 12 மீட்டர் தூரத்திலே காரை நிற்கச் செய்துவிடுவிறது.

மூன்றுவது விரலை மடக்கிக் கொள்ளுங்கள்—இப்போது அடிநிலப் பாதையில் போக்குவரத்தை ஒழுங்கு செய்வதற்கான ரேடார் அமைப்பு வருகின்றது. நீங்கள் இதை நம்பாவிடில், அடிநிலப் பாதை மற்றொரு உதாரணத்தைச் சொல்கிறேன், கேளுங்கள். ஆம்ஸ்டர்டாமுக்கு அருகே நீருக்கு அடியிலான 1.3 கிலோமீட்டர் சுரங்கப் பாதை 1966ல் மோட்டார் போக்குவரத்துக்காகத் திறக்கப்பட்டது. இந்தச் சுரங்கச் சாலையில் பல வரிசைகளில் இரு திசைகளில் கார்கள் முடிவின்றி ஓடுகின்றன. 24 மணி நேரத்தில் இரு திசையிலும் சுமார் 20 ஆயிரம் வாகனங்கள் இந்தச் சுரங்கச் சாலை வழியே செல்கின்

றன. இவ்வளவு நெரிசலான போக்குவரத்தை ஒழுங்கு செய்ய மேற்பரப்புச் சாலையிலும் நிச்சயம் கண்காணிப்பாளர்கள் தேவைப்படுகின்றனர். சுரங்கச் சாலையில் கண்காணிப்பு மேலும் பன்மடங்கு அவசியம். இவ்வேலையை ரேடார்கள் செய்கின்றன.

சுரங்கச் சாலையின் ஒவ்வொரு வரிசையிலும் 30 ரேடார் உணர்விகள் பொருத்தப்பட்டிருக்கின்றன. முதல் வரிசையில் செல்லும் கார், அங்கேயுள்ள ரேடார் உணர்வியைக் கடக்கையில் அக்காரிலிருந்து எதிரடிக்கும் அலையினை அந்த உணர்வி ஏற்று மையக் கட்டுப்பாட்டு நிலையத்திற்கு அனுப்புகிறது. இரண்டாவது வரிசையிலும் அதற்கு அடுத்த வரிசைகளிலும் செல்லும் கார்களின் எதிரடிப்புகளை அந்த உணர்வி ஏற்றுக் கொள்ளாது. இவ்வமைப்பு, கடந்து செல்லும் கார்களைப் பதிவு செய்வதுடன், அவற்றின் வேகத்தினையும் கணிக்கின்றது. உணர்விகள் அனுப்பும் சைகைகளை ஏற்கும் கணிப்புப் பொறி இதனைக் கணித்துவிடுகிறது.

சாலையில் யாவும் செவ்வனே நடைபெறுவதாய் வைத்துக் கொள்வோம். எல்லாக் கார்களும் மணிக்கு 60 கிலோமீட்டர் வேகத்தில் சீராய்ச் செல்வதாகக் கொள்வோம். அப்போது கார்களின் வேகம் குறைந்து பூஜ்யத்தை நெருங்வதாகக் கொள்ளுங்கள். நெருக்கடி என்பதாய் அர்த்தம், உடனே இதைச் சரிசெய்வதாக வேண்டும். கணிப்புப் பொறி இதைச் செய்கிறது. போக்குவரத்து விளக்குகளை எரியச் செய்து தக்க நடவடிக்கைகளை எடுக்கிறது.

முதல் வரிசையில் விபத்து ஏற்பட்டதும் பின்னால் வரும் கார்கள் இரண்டாவது வரிசைக்கு மாறிச் செல்லுமாயின், வேகம் குறையாமல் தொடர்ந்து கார்கள் ஓடும். அப்போது கணிப்புப் பொறி வேறு விதமாய்ச் செயல்படுகிறது. சுரங்கச் சாலையினுள் நுழையும் ஒவ்வொரு காரையும் எல்லா உணர்விகளும் பதிவு செய்து தெரிவிக்கின்றன, கணிப்புப் பொறி அதன் நினைவில் ஒவ்வொரு காருக்கும் ஒரு செல் வழி வகுத்துக் கொள்கிறது. ஒரு கார் முதல் வரிசையிலிருந்து இரண்டாவதற்கு மாறுமாயின், அதன் செல்வழி கணிப்புப் பொறியின் நினைவில் இருப்பதிலிருந்து மாறி விடுகிறது. இது தெரிந்ததும் விபத்து என்று புரிந்து கொண்டு கணிப்புப் பொறி எச்சரிக்கையை ஒலிக்கிறது. விபத்து நடைபெற்ற இடத்தைத் தொலைக்காட்சித் திரையில் குறித்துக் காட்டுகிறது. சாலை ரேடாரானது சுரங்கச் சாலையினுள் புகும் வாகனங்களை எண்ணிக் கணக்கிடுவதுடன் ஒவ்வொரு வாகனத்திடமிருந்தும் சாலைச் சுங்கம் தவறுமல் வசூலிக்கப்படுவதற்கும் வகை செய்கிறது.

விக்தர் இதற்கிடையில் விமான நிலையத்தை அடைகிருர். அங்கே எத்தனை விதமான ரேடார்கள் வேலை செய்கின்றன எண்ணிக் கணக்கிடுங்கள்:

(1) வானிலை ரேடார் (weather radar);

(2) விமான நிலையக் கண்காணிப்பு ரேடார் (airport surveillance radar);

(3) ஆகாயப் போக்குவரத்துக் கட்டுப்பாட்டு ரேடார் (air traffic control radar);

(4) துல்லிய அணுகு வழி ரேடார் (precision approach radar).

இனி விக்தரின் விமானத்திலுள்ள ரேடார்களைக் கணக்கிடுங்கள்:

(1) தேடும் ரேடார் (search radar);

(2) பொறி வழி தரையிறங்குவதற்கான ஏற்பாடு (instrument landing system-ILS)—இதில் ரேடார் உயரமானியும், டாப்ளர் ரேடாரும் மற்றும் சில வகை ரேடார்களும் இருக்கும். ஓடுபாதையைச் சார்ந்து விமானத்தின் வேகம் எவ்வளவு என்று கணிக்க டாப்ளர் ரேடார் பயன்படுகிறது;

(3) மோதலைத் தவிர்ப்பதற்கான ரேடார் (anti-collision radar)—இது விமானத்திற்கு அபாயம் விளைவிக்கக் கூடிய முறையில் ஆகாயத்தில் செல்லும் பொருள்களின் வேகத்தையும் அவற்றின் இட நிலைகளையும் கணிக்க உதவுகிறது. இது தெரிவிக்கும் விவரங்களைக் கொண்டு விமானத்திலுள்ள கணிப்புப் பொறி அப்பொருள்களின் பறத்தல் பாதையைக் கணித்து, விமானம் அவற்றுடன் மோதாதபடி வழி நடத்துகிறது.

இந்த ரேடார்களை முன்பே நாம் பரிசீலித்தோம். டாப்ளர் விளைவைப் பயன்படுத்திக் கொள்ளும் இன்னொரு ரேடாரைப் பற்றியும் இங்கு குறிப்பிட வேண்டும். விமானம் தரையைத் தொடுவதற்கு முன்பு அதன் வேகத்தின் செங்குத்து அளவை இந்த ரேடார் அளக்கிறது. விமானத்திலுள்ள கணிப்புப் பொறி உடனே தரையை விமானம் எவ்வளவு விசையோடு

தொடும் என்பதைக் கணிக்கிறது. விமானம் ஒவ்வொரு தரம் தரையிறங்குகையிலும் இந்த விவரங்களை இவ்வமைப்பு சேகரித்துச் செல்கிறது. தரையைத் தொடும் பகுதியில் உறுதி நிலை போதுமா என்பதைக் கணித்து, அதை எப்போது அகற்றி அதனிடத்தில் புதிய பகுதியைப் பொருத்த வேண்டும் என்று அறிவிக்கிறது.

அடுத்து, கிரீன்லாந்து கடற்கரையில் அமைந்த ரேடார்களில் சிலவற்றைக் கவனியுங்கள்:

(1) வானிலை ரேடார் (weather radar);

(2) கப்பல்துறைப் போக்குவரத்துக் கட்டுப்பாட்டு ரேடார் (harbour traffic control radar);

(3) கரையோரப் போக்குவரத்துக்கான ரேடார் (off-coast sailing radar).

மோட்டார்க் கப்பலில் பொருத்தப்பட்டுள்ள ரேடார்கள்:

(1) தேடும் ரேடார் (search radar)—மூடுபனியிலும், இரவு நேரத்திலும் கப்பலை வழிநடத்துகிறது.

(2) நங்கூரமிடும் ரேடார் (moorning radar), மோதல் தடுப்பு ரேடார், இன்ன பிற.

போர்க் கப்பலில் இருப்பதைப் போல் அத்தனை இல்லாவிட்டாலும், பயணக் கப்பலிலும் மிகப் பல ரேடார்கள் உள்ளன.

முடிவில் விக்தர் ஓய்வு விடுதியை அடைந்தார். ஓய்வு விடுதியிலும்கூடவா ரேடார் இருக்கிறது, எல்லாமே ரேடார் மயமாகி விட்டனவா என்று கேட்பீர்கள். ஓய்வு விடுதியிலும் (அல்லது அதற்கு பக்கத்

தில்) ஒரு ரேடார் நிலையம் இருக்கிறது. ''விசித்திர மான வடிவில் அருகாமையில் கட்டிடங்கள் காணப் பட்டதாகச்'' சொன்னேனே, அதை நினைவுபடுத்திக் கொள்ளுங்கள். அவற்றுள் ரேடார் பொறிகள் இருக் கின்றன. விண்வெளிக் கலன்கள், துணைக்கோள்கள், மற்றும் பல வகையான விண்வெளி இலக்குகளைக் கண்டறியவும் அவற்றின் பாதையைக் கணிக்கவும் இவை பயன்படுத்தப்படுகின்றன. ஆக, எத்தனை ரேடார்கள் ஆகின்றன, கணக்கிட்டுப் பாருங்கள்.

நான் மிகைப்படுத்துவதாக நீங்கள் நினைக்கலாம். அப்படியானால், நான் கூறியது முற்றிலும் உண்மை யே என்பதைச் செய்தியேடுகளை ஆதாரமாகக் காட்டி உங்களுக்கு நிரூபிக்கிறேன். எடுத்துக் காட் டாக 1969 டிசம்பர் 19ஆம் தேதி **இஸ்வேஸ்தியா** செய்தியேட்டைப் பாருங்கள். சோவியத் சிவில் விமானத் துறை அமைச்சர் அளிக்கும் பேட்டி நான் காவது பக்கத்தில் வெளிவந்திருக்கிறது. அந்தப் பேட்டியின் ஒரு பகுதி கூறுவதாவது: ''...சோவியத் விஞ்ஞானிகளும், திட்டம் புனை நிபுணர்களும் பொ றியாளர்களும் எவ்வளவு மோசமான வானிலையிலும் விமானங்களைத் தானியங்கி முறையில் விமான நிலை யத்துக்கு வரச் செய்து அவற்றைத் தரையிறங்கச் செய்யும் சிக்கலான பிரச்சினைக்குத் தக்க தீர்வு கண்டுள்ளனர். விமானங்கள் காலங் கடந்து வந்து சேர்வதற்கும் விமானப் பறத்தல்கள் ரத்து செய் யப்படுவதற்கும் இனி முடிவு கட்டிவிடலாம் என்ற நம்பிக்கையை இது உண்டாக்குகிறது.'' ரேடார்

புரிந்திடும் சாதனை இது! அதே பக்கத்திலுள்ள இன்னொரு செய்தியையும் பாருங்கள்:

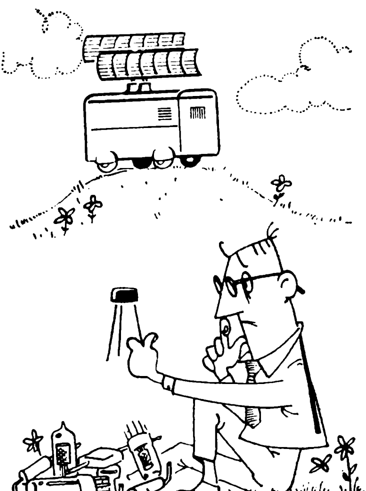
''பிராட்டிஸ்லாவா'' (Bratislava) எண்ணெய்க் கப்பல் அட்லாண்டிக் மாகடலில் சென்று கொண்டிருக்கையில், அதிலிருந்து ரேடார் இனங்காண முடியாத ஏதோ ஒன்று நெருங்கி வருவதைக் காட்டியது. கப்பலின் காவல் அதிகாரி ஒரு கறுப்புப் பந்து கப்பலை நோக்கி வருகிறது என்று அறிவித்தார். வியப்புற்றவராய்க் கப்பல் தலைவர் எல்லாரையும் எச்சரிக்கை செய்துவிட்டுக் கப்பலின் வேகத்தினைக் குறைக்கும் படியும் எல்லாச் சாளரங்களையும் மூடும்படியும் கட்டளை இட்டார். சில நிமிடங்களில் கப்பல் கறுப்பு வெட்டுக்கிளிகளது பெரும் படலத்துள் சென்றது. வெட்டுக்கிளித் திரள்கள் கப்பலின் மேல் அமைப்புகளிலும் மேகம் போல் கவிந்து கொண்டன. எல்லா மூலை முடுக்குகளிலும் புகுந்து விட்டன. அவற்றை அகற்ற மாலுமிகள் ஒரு நாள் முழுதும் வேலை செய்ய வேண்டியதாயிற்று. தக்க நேரத்தில் எச்சரிக்கை கிடைத்ததால் தொல்லை அதோடு முடிந்தது.''

சாளரங்கள் யாவும் அடைத்து மூடப்பட்ட பிறகும் மாலுமிகள் ஒரு நாள் முழுதும் வேலை செய்ய வேண்டியிருந்தது. பூச்சிப் படை வருவதை முன்னறிந்து எச்சரிக்கை செய்ய ரேடார் இல்லாமற் போயிருந்தால், இந்தப் படையெடுப்பை எதிர்த்தடிப்பது இன்னும் பன் மடங்கு கடுமையாய் இருந்திருக்கும்.

சோவியத் தரைப்படை தினம், கப்பற் படை தினம், எல்லைக் காவலர்களது தினம்— இவை போன்ற

தினங்களின் போதான சோவியத் செய்தியேடுகளைப் பார்த்தீர்களானல், ரேடார்கள் எப்படியெல்லாம் பயன்படுகின்றன என்பது பற்றிய பல செய்திகளை யும் காண்பீர்கள். நாம் வாழும் உலகம் ரேடார் மயமானது என்பதை ஐயமற எல்லா வாசகர்களுக் கும் உணர்த்துவதற்கு இதுகாறும் கூறப்பட்ட விவ ரங்கள் போதும் என்று நினைக்கிறேன். இனி ரேடாரை மேலும் நெருங்கிச் சென்று ஆராய்வோம்.

இரண்டாம் பாகம்
ரேடார் எப்படி இயங்குகிறது



நெருங்கிச் சென்று பார்வையிடுவோம்

ரேடாரின் பொதுவான சித்திரம் இப்போது நமக்குக் கிடைத்திருக்கிறது. வரிசையாகப் பல வகை ரேடார்களேயும் ஆராய்ந்தோம், ஒவ்வொன்றும் அதற்குரிய வேலையைச் செவ்வனே செய்யக் கண்டோம். ஆயினும் நெருங்கிச் சென்று இந்த ரேடார்களே நாம் சரிவர அறிந்து கொண்டதாகச் செல்ல முடியுமா? முடியாது. அந்தந்த ரேடாரும் செய்யும் வேலையைத் தெரிந்து கொண்டோமே தவிர, அதை அது எப்படி செய்கிறது என்று இன்னும் நாம் தெரிந்து கொண்டாகவில்லே. இந்தக் குறையை நிவர்த்தி செய்ய முயல்வோம்.

நெருங்கிச் சென்று ஆராய்வதற்கு எந்த ரேடாரைத் தெரிந்தெடுப்பது? முதல் பாகத்தில் விளக்கப் பட்ட எல்லா ரேடார்களேயும் ஆராயுலாமா? கடலேக் கையில் அடக்க முடியுமா? அல்லது விஞ்ஞானப் புத்தகங்களில் எழுதப்படும் விதத்தில் சொல்வதெனில்,

''இந்தச் சுவையான பிரச்சினையை இங்கு விவரமாய் ஆராய்வதற்கில்லை'' என்று கூற வேண்டும்.

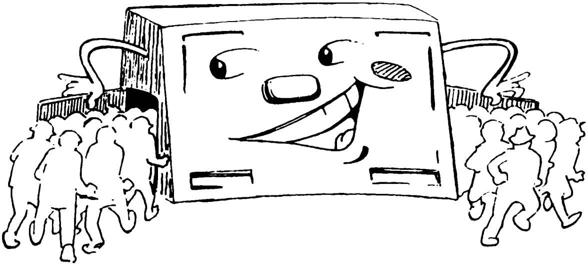
ஆகவே, அடைய முடியாததை அடைய முயலுவதை விடுத்து, அடையக்கூடியதான எளிய இலக்கை வகுத்துக் கொள்வோம். ஏதேனும் ஒரு வகை ரேடாரை எடுத்துக் கொண்டு அது எப்படி இயங்குகிறது என்று பார்ப்போம். நாம் எடுத்துக் கொள்ளும் வகை மட்டுமின்றி எல்லா வகை ரேடார்களின் இயங்கு முறை விதிகளை இவ்வழியில் நாம் ஓரளவு தெரிந்து கொள்ளலாம். ஆனால் எந்த வகையை எடுத்துக் கொள்வது?

இது பற்றி முடிவு செய்ய பல வழிகள் உண்டு.

முதலாவது வழி: நிகழ்தகவு (probability) கோட்பாட்டை அடிப்படையாகக் கொண்டது இது. எல்லா ரேடார்களின் பெயர்களையும் தனித்தனியே துண்டுத் தாள்களில் எழுதிச் சீட்டுக் குலுக்கிப் போடுவோம். நடுவர் ஒருவரை அழைத்து, ஒரு துண்டுச் சீட்டினை எடுக்கச் சொல்வோம். எந்த ரேடாரை ஆராய்வதென்று அந்தத் துண்டுச் சீட்டு அறிவிக்கும். இந்த முறை புறநோக்கு வாய்ந்ததாக இருக்கும் என்றாலும், சங்கடம் என்னவெனில் வழக்கொழிந்த ரேடார் வகையோ, தனித் துறைக்குரிய உயர் நுட்ப ரேடார் வகையோ அறிவிக்கப்படக் கூடும். தனித் துறைக்குரிய உயர்நுட்ப ரேடாரை ஆராய்வதெனில், தொழில்நுடப நூல்களுடன் இந்த ஆசிரியர் போட்டியிட வேண்டியதாகிவிடும். இது எளிய காரியமல்ல. பெரிய இழப்பே ஏற்படும்—வாசகர்களுக்கு மட்டுமல்ல, இந்த ஆசிரியருக்குங்கூட.

இரண்டாவது வழி: பெருவாரியானேரது விருப் பத்தை அறிதல். ஆசிரியர் விளக்கிச் சொல்லக் கூடிய ரேடார் வகைகளைப் பட்டியல் எடுத்து, புத்த கத்தின் வருங்கால வாசகர்கள் எல்லோருக்கும் பிடித்தமான வகையைக் குறித்து அனுப்பச் சொல் லலாம். பெருவாரியானேரது வாக்கு எதற்குக் கிடைக் கிறதோ, அதுவே இங்கு நாம் விவரிக்க வேண்டிய ரேடார் வகை. நல்ல முறையே என்ருலும், நிறைய வேலை செய்தாக வேண்டும். பட்டியல்கள் தயாரித்து அனுப்பி, பதில்களைச் சேகரித்துப் பரிசீலித்தாக வேண்டும். தன்மானமுள்ள எந்த ஆய்வாளரும் இந் நாட்களில் இம்மாதிரியான பரிசீலனையைக் கணிப்பு இயந்திரத்தைக் கொண்டு அல்லாமல், வேறு எவ்வி தத்திலும் செய்ய மாட்டார். இத்தனை வேலைகளுக் கும் தேவையான நேரத்தைச் செலவிடுவது விரும் பத் தக்கதல்ல.

மூன்ருவது வழி: ஆசிரியர் தமது விருப்பத்துக் கேற்ப ஒன்றைத் தெரிந்தெடுத்துக் கொள்ளுதல். வாசகர் இங்கு ஒன்றும் செய்வதற்கில்லை. ஆசிரியர் தமது விருப்பு வெறுப்புக்கு ஏற்பவும், இன்னும் முக் கியமாய், பல்வேறு ரேடார்களைப் பற்றியும் தம்மி டம் இருக்கும் விவரப் பொருளுக்கு ஏற்பவும் தக்க ரேடார் வகை ஒன்றைத் தீர்மானம் செய்கிருர். இயல்பாகவே அவர் வாசகர்களது நலன்களையும் மனதிற் கொண்டுதான் முடிவு செய்வார். ஆனல் ஆசிரியரது முடிவு சில வாசகர்களுக்கு அவ்வளவா கப் பிடிக்காமற் போனலும் போகலாம், அவர்க ளுக்கு உதவ வழி இல்லாமற் போய்விடும்.

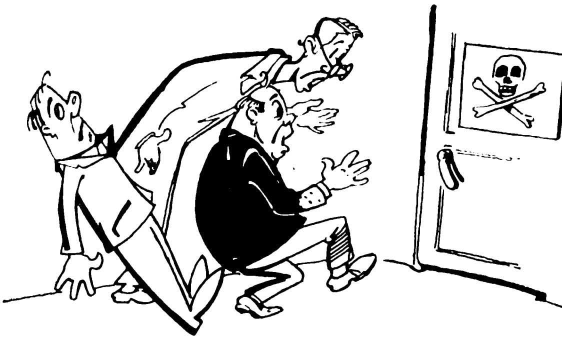


இவ்விதம் நாம் ஒரு ரேடாரைத் தெரிந்தெடுக்கிறோம். செயற்கைத் துணைக் கோள்களையும், ஆளில்லாத விண்வெளி ஆய்வுக் கலன்களையும், வலவர்களுடன் கூடிய விண்வெளிக் கப்பல்களையும், எறிவிசை ஏவுகணைகளையும் கண்டறிவதற்கும், பாதை கணிப்பதற்குமான நவீன உயர் ஆற்றல் ரேடாரை ஆராய்வோம்.

இந்த ரேடார் நிலையத்தின் தோற்றம் எப்படியிருக்கும் என்பது குறித்து சில வார்த்தைகள் கூறுவோம். விளையாட்டு அரங்கினுள் அமர்ந்திருப்பதாகக் கற்பனை செய்து கொள்ளுங்கள். ரேடார் நிலையத்தின் கட்டிடம் இந்த விளையாட்டு அரங்கு போல் அதே வடிவமுடையதாய் இருக்கும். ஆனால் பருமனில் சற்றுச் சிறிதாய் இருக்கும். பார்வையாளர்களுக்கான படிவரிசைகளுக்குப் பதில் அலை ஏற்பி, பரப்பிகளின் ஏரியல்கள் இருக்கக் காண்கிறோம். பிரதான கட்டிடமானது ரேடார் சாதனங்களுக்கான அறைகளாகவும் கூடங்களாகவும் பிரிக்கப்பட்டிருக்கிறது.

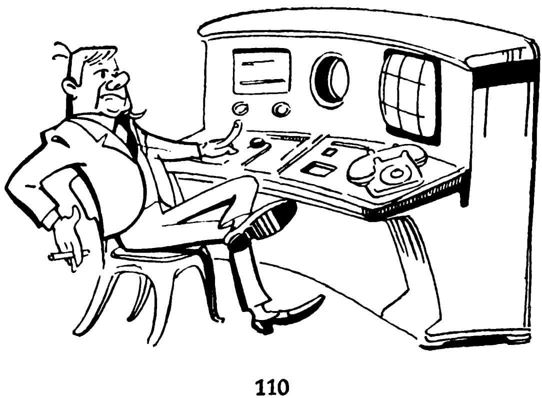
விபத்து தவிர்ப்பிலும் காப்பு முறைகளிலும் நாம் பயிற்சி பெற்றவர்களாய் இருப்பதாகக் கொள்வோம். இந்நிலையத்துக்குச் சென்று சுற்றிப் பார்க்க நமக்கு அனுமதி கிடைத்துவிட்டது. நிலையம் வேலை செய்யாத ஒரு நாள் அதனுள் செல்கிறோம். நிலையம் இயங்குகையில் நிலைய ஊழியர்களுங்கூட சிற்சில இடங்களினுள் அனுமதிக்கப்படுவதில்லை. நிலையத்தின் கூடங்களில் உயர்-அழுத்த பொறிகளும் சாதனங்களும் இருக்கின்றன. மண்டையோடும் குறுக்கு எலும்புகளும் குறிக்கப்பட்ட அபாய எச்சரிக்கைச் சின்னங்கள், இங்கே வராதீர்கள் என்று நமக்கு அறிவிக்கின்றன. மையக் கட்டுப்பாட்டு அறையில் மீட்டர்கள், ஒளித் திரைகள் முன்னால் அமர்ந்து வேலை செய்வோருக்கு நம்மால் இடையூறு ஏற்படலாகாது. இவர்கள் முழுக் கவனம் செலுத்திக் கண்ணும் கருத்துமாய் வேலை செய்கிறவர்கள்.

கூடம் கூடமாகச் சென்று பார்வையிடுகிறோம். எங்கும் வரிசை வரிசையாக இரும்பு நிலைப்பெட்டிகள் இருக்கின்றன. சில பெட்டிகள் திறந்து இருக்கின்றன, நிலையம் இயங்காத நேரத்தில் தொழில்நுட்ப ஊழியர்களும் காப்புப் பொறியாளர்களும் இவற்றின் பொறிகளையும் விசைகளையும் சரிபார்க்கிறார்கள். பழுதாகிவிடும் நிலையிலுள்ள உறுப்புகளை நீக்கிப் புதியவற்றைப் பொருத்துகிறார்கள். ஒரு பெட்டியினுள் நாம் எட்டிப் பார்க்கிறோம். வண்ணக் கம்பிகள் அதனுள் அடர்த்தியாக இருக்கக் காண்கிறோம். பிளாஸ்டிக் கவசமிடப்பட்ட வடங்களும் ஏராளமான வால்வுகளும் டிரான்சிஸ்டர்களும் பிறவும் அதனுள்



இருக்கின்றன. மின்னணுவியல், ஒளியியல், மற்றும் பல விஞ்ஞானத் துறைகளிலும் காணப்பட்டுள்ள நவீன சாதனைகளை பிரதிபலிப்பவை இவை யாவும்.

மையக் கட்டுப்பாட்டு அறைக்குள் (central control room) செல்கிறோம். இப்போது இங்கே யாரும் இல்லை. ஒளித் திரைகள், மீட்டர் முள்கள் முதலா



னவை செயலடங்கிச் சும்மாயிருக்கின்றன. தூசித் தடுப்பு உறை இட்டு, செய்தித் தொடர்பு ஒலிவாங்கி (intercom-microphone) மூடப்பட்டிருக்கின்றது. நிலையம் இயங்க ஆரம்பிக்கும் போது இவையெல்லாம் உயிர் பெற்றுச் செயலாற்றத் தொடங்கும். ஏரியலிலிருந்து செல்லும் அலைக்கற்றை (radio beam) இலக்கை (target) அடைந்ததும் ரேடார் திரையில் நீல அல்லது பச்சை நிறமுள்ள கனலொளி (glow) தெரியும். இது எலக்ட்ரான் கற்றையினுல் உண்டாக்கப்படுகின்றது. எல்லா நிகழ்ச்சிகளும் திரைப்படக் காமிராக்களினுலும் ஒலிப்பதிவுப் பொறிகளாலும் (tape-recorders) பதிவு செய்யப்படுகின்றன. பிற்பாடு யாவும் அமைதியாகி விடும் போது இயக்குநர்கள் (operators) இந்தப் பதிவுகளைப் பகுத்தாய்ந்து, நிலையம் ஒழுங்காக இயங்கியுள்ளதா என்று சொல்வார்கள். நிலையம் இயங்கும் போது, அதிவேகக் கணிப்பு இயந்திரம் (computer) நிலையத்தின் இயக்கத்தை மதிப்பீடு செய்கிறது, இலக்கு எதிடித்த சைகைகளைச் செய்முறைக்கு உட்படுத்திப் பரிசீலிக்கிறது. மையக் கட்டுப்பாடு அறையிலிருந்து இப்போது நாம் இந்த உயர்வேகக் கணிப்பு இயந்திரத்துக்குரிய கூடங்களுக்குச் செல்கிறோம். தடங்காட்டும் ரேடார் (tracking radar) எதனுலும் இன்று கணிப்பு இயந்திரத்தின் துணையின்றி இயங்க முடியாது. ரேடாரின் பயன்திறன் (efficiency) பெருமளவுக்குக் கணிப்பு இயந்திரத்தின், நினைவாற்றல் தகுதியினைக் கொண்டும், அது செய்கின்ற வேலையின் வேகத்தைக் கொண்டும் தீர்மானிக்கப்படுகின்றது.

மேலும் நடந்து ஒரு பெரிய அறையின் கதவைத் திறந்து உள்ளே எட்டிப் பார்க்கிறோம். காண்போரைத் திகைக்கச் செய்யும்படியான மிகப் பல பொறிகளும் நிறைந்திருக்கின்றன. மின்மாற்றிகள், ரெக்டிபையர்கள், ரேடாருக்கு மின்விசை வழங்குவதற்கு வேண்டிய பல பொறிகளும் ஆகும் இவை. ரேடார் இயங்கும் போது நடுத்தர நகருக்குச் செலவாகும் அளவில் அதற்கு மின்விசை வேண்டியிருக்கிறது. இவை இப்பொழுது செயல்படவில்லை, ஆயினும் இவற்றின் உள்ளடங்கிய உறுமலும், சுற்றிலும் இருப்பவை யாவும் மலைப்பூட்டுவனவாகவே உள்ளன; சப்தம் செய்யாமல் நாம் அறைக் கதவை மூடுகிறோம்.

வேடிக்கைப் பார்த்துக் கொண்டு சுற்றிவருவோர் சுற்றுலாவின் கடைசிக் கட்டத்தில் தமது நடையைத் துரிதமாக்கிக் கொண்டுவிடுவதைக் கவனித்திருப்பீர்கள். அதே போலவே நாமும் வேகம் வேகமாய் அடியெடுத்து வைத்து விரைகிறோம் (ஓடவில்லை—அது முறைகேடான செயலாகிவிடும்). நாம் விரைந்து செல்லும் கூடத்தில் சூடேறிய எலெக்ட்ரானிக் இயந்திர சாதனங்களைக் குளுமை செய்வதற்கான பொறி அமைப்புகளும் ஏனைய பல துணைச் சாதனங்களும் இருக்கின்றன.

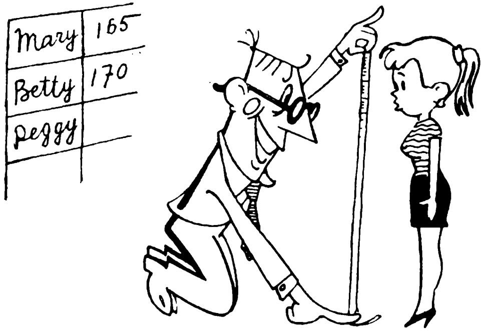
நமது சுற்றுலா முடிவடைந்துவிட்டது. என்ன நினைக்கிறீர்கள்? நமது பரிசீலனைக்கு இவ்வாசிரியர் தேர்ந்தெடுத்திருக்கும் ரேடார் வகை உங்களுக்குப் பிடித்திருக்கிறதா? அப்படியானால் தொடர்ந்து மேலும் படியுங்கள். இந்த ரேடார் எப்படிச் செயல்

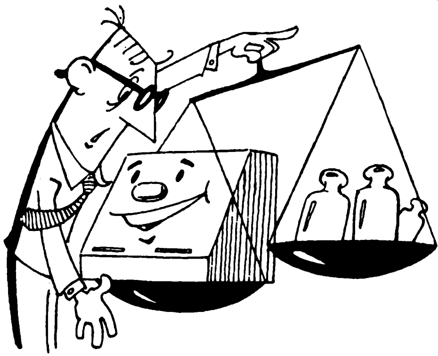
படுகிறது என்று உங்களுக்குப் பெரும் போக்கான ஓர் உருவரை கிடைக்கும். ஆனால் அதற்கு முன்பு இன்னொரு கேள்விக்கு நாம் பதில் தெரிந்து கொள்ள முயல வேண்டும்.

தர மதிப்பீடு செய்வது எப்படி?

நிதானமாகச் சிந்தித்து, யாவற்றையும் எடை போட்டுப் பார்த்துக் காரியம் ஆற்றும் இளைஞராக, இவ்வாசிரியர் தனது வாசகரைப் பாவித்துக் கொள் கிறார் என்பதை முதற்கண் குறிப்பிட வேண்டும். கண்டதும் காதல் கொண்டு விடுகிறவரல்ல, ஆழ்ந்த ஆலோசனைக்குப் பிறகே முடிவு செய்கிறவர், ஆகவே தன் காதலுக்கு ஏற்றவளாய் ஒரு பெண்ணை இவர் தெரிந்தெடுத்துக் கொள்வதன் காரணத்தை விளக் கிச் சொல்லக் கூடியவர் என்பதாகக் கொள்கிறோம். ஓர் இளைஞன் தனக்கு ஒரு மங்கையைத் தேர்வு செய்து கொள்வது, எப்படி நடைபெறுகிறது? இது ஒரு விந்தைதான். இருப்பினும் இது பின்வருமாறு நடந்தேறுவதாகக் கற்பனை செய்து கொள்வோம்.

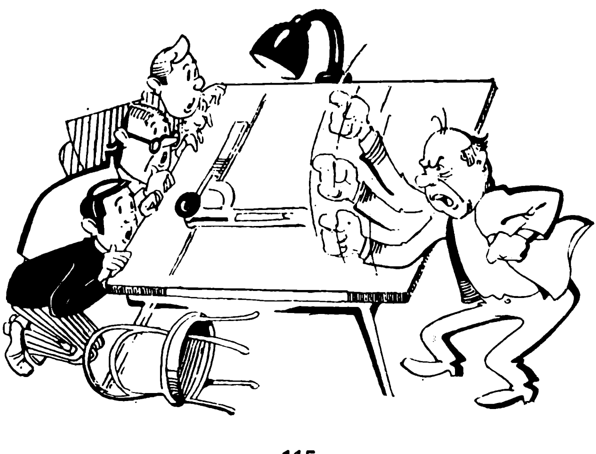
சிற்சில பண்புகளின் அடிப்படையில் அம்மங் கையை மதிப்பீடு செய்ய இவ்விளைஞர் முயற்சி செய் வார். பொறியாளர்கள் இப்பண்புகளை ''மாறிகள்'' (variables) என்கிறார்கள். அந்த மங்கையின் தலை முடி, கண் இவற்றின் நிறம், அவளது நடை, நண் பர்களுடன் அவள் பழகும் முறை, அவளது தாய் எப்படிப்பட்டவர், தனது உள்ளத்து உணர்ச்சிகளால்





அவள் உள்ளத்தில் எழும் உணர்ச்சிகள் எத்தன்மை யானவை, அவளை அழைத்துச் சென்று அவளது வீட்டில் விடுவதற்கு ஆகும் நேரம், ஒவ்வொரு சந்திப்புக்கும் பிற்பாடு தன் இருப்பிடத்திற்கு வந்து சேரும் பொருட்டு எத்தனை பேருந்துகள் அல்லது ரயில்கள் மாறியாக வேண்டும்... இப்படிப் பலவும் ''மாறிகளாக'' அமையலாம்.

மேலும் உயரம் போன்ற சில மாறிகல் தலைமையான முக்கியத்துவம் பெறக் கூடும் (நெடிது உயர்ந்த மங்கையின் பக்கத்தில் தாம் காணப்படுவது தமது மதிப்புக்கு நல்லதல்ல என்று சில இளைஞர்கள் கருதலாம்), வேறு சில ''மாறிகள்'' (உதாரணமாய், மிதியடியின் அளவை) அதிக முக்கியத்துவம் இல்லாதனவாய் இருக்கலாம். சில ''மாறிகளை'' முதல் சந்திப்பிலேயே மதிப்பிட்டுவிட முடியும், ஏனைய சில (எடுத்துக் காட்டாய், அவள் கோபக்காரியா, அவள் தாய் எப்படி) எடுத்ததும் கண்டு கொண்டு விட முடியாதவை. யா. ஹூர்கின் எழுதியுள்ள ''அதனால் என்னவாம்?'' என்கிற புத்தகத்தில் கூறப்படும் ஆலோசனையைப் பின்பற்றுவதெனில் தேர்வு செய்வதற்குரிய சிறந்த முறை வருமாறு: தேர்வுக்குரியவர்களது பட்டியலைத் தயாரித்து, ஒவ்வொரு பண்புக்கும் அவர்



களுக்கு அளிக்கக் கூடிய மதிப்பெண்ணைக் குறிப் பிட்டு, கூட்டிப் பார்த்து அதிக மதிப்பெண் பெறு கிறவனைத் தேர்வு செய்து கொள்ள வேண்டும்.

நமது இளைஞர் தனக்குரியவளை எப்படியேனும் ஒரு வழியில் தேர்வு செய்து கொள்ளத் தெரிந்தவர் (அல்லது தெரியுமென நினைப்பவர்) என்பதாக வைத் துக் கொள்வோம். ஆனால் இங்கே ரேடார் விவகாரத் தில் நமது நிலை அவ்வாறு இல்லை, கொஞ்சம் சங் கடமானது. ரேடார்களைத் தர மதிப்பீடு செய்வது குறித்து நாம் ஏதும் அறியாதோராய் இருக்கிறோம். ரேடார் நிலையம் அமைந்திருக்கும் கட்டிடங்களை எண்ணிக் கணக்கிட்டு, இந்த எண்ணிக்கையைக் கொண்டு ரேடாரைத் தர மதிப்பீடு செய்யலாமா? அல்லது ரேடாரின் பல்வேறு உறுப்புகளை எடை போட்டு நிறுத்தி மதிப்பீடு செய்யலாமா? இம்மாதி ரியான அளவு கோல்களைச் கொண்டு மதிப்பீடு செய் வது சரியல்ல என்பது ரேடாரைப் பற்றி அதிகம் தெரியாதவருக்குங்கூடத் தெளிவாகவே விளங்கும். சக்தி மிக்கதும் நூதனமானதும் ஆகிய ரேடார் இன்று பருமனில் பெரியதாக இருப்பது மெய்தான். ஆனால் கையடக்கமாக்குவதிலும் நுண்மையாக்குவதிலும் மேலும் தொடர்ந்து ஏற்படக் கூடிய முன்னேற்றத் தின் விளைவாய் அடுத்த தலைமுறைகளைச் சேர்ந்த ரேடார்கள் அமைப்புத் திட்டத்திலும் செயலிலும் பன்மடங்கு உயர்ந்தனவாய் இருப்பினும் பருமனில் பெரிதும் சிறிதாக்கப் பட்டு விடலாம்.

ரேடார்கள் எப்படி தர மதிப்பீடு செய்யப்படு கின்றன என்பதைப் புரிந்து கொள்ள ஒரு புதிய

ஆளை, அதாவது நுகர்வாளரைக் கொண்டு வர வேண்டியிருக்கிறது. பொதுவான முன்னேற்றத்தின் கண்கொண்டு பார்க்கையில் இந்த ஆள் வரவேற்கத் தக்க பங்கு ஆற்றுகிறவர்தான், ஏனெனில் விடப்பிடியாக வற்புறுத்துவதன் மூலம் மேலும் சிறப்பான ரேடார் அமைப்புகளை உருவாக்கும்படி திட்டப் புனைவாளர்களை இவர் கட்டாயப்படுத்துகிறார். ஆனால் அதே காரணத்தால் அவருடான தொடர்பு கசப்பான ஒன்றாகவும் ஆகவிடக் கூடும்—ஓயாமல் வற்புறுத்துவதும் சுபாவமுடையவர் எவரும் இனிய சுபாவமுடையவராகக் கருதப்படுவது இல்லையே.

நெடுந்தூரக் கண்டறிக் குறிதூரமும் (long detection range), உயர் துல்லிதமும் (high accuracy), சிறப்பான பிரித்துணர் பண்பும் (high resolution), உயர்ந்த கண்ணோட்ட வேகமும் (scan speed) கொண்ட ரேடார் வேண்டும் என்று இந்த நுகர்வாளர் குறிப்பிடலாம். ஒரே ரேடாரில் இத்தனைச் சிறப்புகளும் வேண்டும் என்று அவர் கோருவதாகக் கொள்வோம். ஒருங்கே நான்கு புதிய தொடர்களைச் சந்திக்கிறோம். இவற்றின் பொருள் என்ன என்பதை விளக்கியாக வேண்டும்.

நெடுந்தூரக் கண்டறிக் குறிதூரம் உடையதாக இருக்க வேண்டும் என்கிறார் இந்த நுகர்வாளர். இலக்குகள் அதிகம் சிறியனவாய் இருப்பினும் அவற்றைக் கூடுமான அளவுக்கு அதிக தொலைவிலேயே கண்டறிந்து கொள்ளக் கூடிய ரேடாராய் இருக்க வேண்டும் என்கிறார் என்பதுதான் இதன் அர்த்தம். ஆனால் ஓர் இலக்கு இருக்கும் தூரம் அதிகரிக்கும்

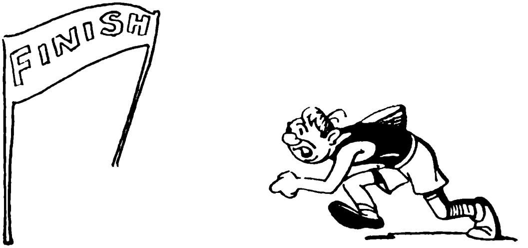


போது, அதனை நோக்கிச் செல்லும் சைகை அலையில் ஏற்படும் சிதறலும் அதிகரித்துச் சைகை அலையின் வலிமை மேலும் மேலும் குறைவதால், இலக்கின் மீது பட்டுத் திரும்பி வந்து சேரும் எதிரடிப்பு சைகையும் அதே அளவுக்கு பலவீனமடைந்து விடுகிறது. இந்த நிலைமை இங்குள்ள படத்தில் காட்டப்படும் நிலைமையை ஒத்ததாகும். நெடுந்தூர ஓட்டப் போட்டியின் துவக்க நிலையில் போட்டியாளர்கள் விறுவிறுப்பும் வலிவும் மிக்கவர்களாய் இருக்கிறார்கள். இவர்களில் ஒரு சிலர் மட்டுமே (நமது விவகாரத்தில் எதிரடிப்பு சைகைகள்) களைத்து ஓய்ந்து போன நிலையில் முடிவெல்லையை (நமது விவகாரத்தில் ரேடார் ஏற்பி) வந்தடைகிறார்கள்.

ஒவ்வொரு ரேடாரும் ஒரு குறிப்பிட்ட எல்லை வரை இருக்கின்ற இலக்கினைத்தான் கண்டுபிடித்துக் காட்ட முடியும். அந்த எல்லைக்கு அப்பாலுள்ள இலக்கை அதனால் கண்டறிய முடிவதில்லை, அந்த இலக்கின் தொலைவை அளந்து கூறுவது இன்னுங்கூட முடியாத காரியம். அந்தக் குறிப்பிட்ட தொலைவே கண்டறிக் குறிதூரம் (detection range) எனப்படுவது.

அதிகச் சக்தி வாய்ந்த சைகை அலைகளை அனுப்புவதன் மூலம், ஒரு ரேடாரின் கண்டறிக் குறிதூரத்தை அதிகப்படுத்தலாம்.

நாம் தேர்ந்தெடுத்துக் கொண்ட ரேடாரானது தனித் தனி மின் துடிப்புக்களாக (separate pulses) சைகைகளை அனுப்புகின்றது. ஒவ்வொரு மின் துடிப்பும் எடுத்துச் செல்லும் சக்தியினைப் பொறுத்தே ரேடாரின் கண்டறிக் குறிதூரம் அமைகின்றது. ஒரு மின் துடிப்பின் சக்தி, அதன் துடிப்பு நேரத்தினை (pulse duration) பொறுத்தும், செலுத்தப்பட்ட திறனின் (power) சராசரி அளவினைப் பொறுத்துமே உள்ளது. செலுத்தப்பட்ட திறனின் (transmitted power) அளவினைக் கணக்கின்றி அதிகரித்துக் கொண்டே போக முடியாது—இது கூறாமலே விளங்கும் ஒன்று. ஒரு ரேடார், அதனுடைய வெளியீடு திறனின் (output power) முழு அளவுக்குச் செயல்பட்டுங் கூட, வேண்டிய கண்டறிக் குறிதூரத்தினை (range) அடைய முடியவில்லை என்றால், ஒவ்வொரு மின்துடிப்பின் நேரத்தையும் அதிகமாக்கிச் சைகை எடுத்துச் செல்லும் சக்தியை அதிகமாக்கலாம்.



மேலே கூறப்பட்டதிலிருந்து, கிடைக்கக் கூடிய திறனை அதிகபட்ச அளவுக்கு உபயோகிப்பதன் மூலமும், மின் துடிப்பு நேரத்தை அதிகபட்ச அளவுக்கு அதிகமாக்குவதன் மூலமும் கண்டறிக் குறிதூரத்தை எவ்வளவு வேண்டுமானாலும் அதிகமாக்கிச் செல்ல முடியும் என்பதாய் நினைக்கத் தோன்றும். ஆனால்... பொறியியல் துறையில், ''ஆனால்'' என்பதற்கு எப்போதும் இடம் உண்டு. இங்கே ''ஆனால்'' என்பது, நுகர்வாளர் கோரியுள்ள இரண்டாவது சிறப்பிலிருந்தும் (அதாவது உயர் துல்லிதம்), மூன்றாவது சிறப்பிலிருந்தும் (அதாவது சிறந்த பிரித்துணர் பண்பு) எழுகின்றது. கண்டறிக் குறிதூரத்தை அதிகமாக்கினால், உயர் துல்லிதத்துக்கும் உயர்ந்த பிரித்துணர் பண்புக்கும் இடமில்லாமற் போய் விடுகிறது. ஏன் இந்த முரண்பாடு என்று புரிந்து கொள்ளும் பெருட்டு, ரேடாரானது இலக்கின் இடத்தை எப்படிக் கண்டறிகிறது என்பதை முதலில் தெரிந்து கொள்ள வேண்டும். எளிய முறையில் இதனை இங்கு பரிசீலிப்போம்.

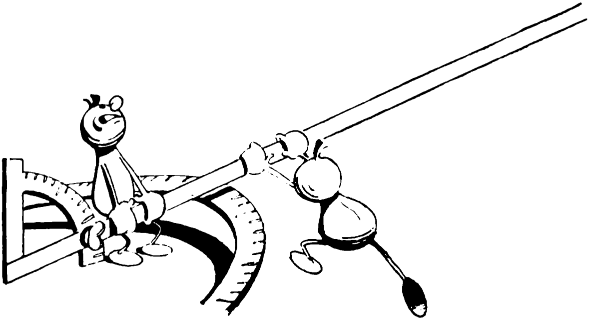
இலக்கின் இடம் எப்படி அறியப்படுகிறது

ஓர் இலக்கின் இருப்பிடம், அதனுடைய வீச்சு (range), ஏற்றக் கோணம் (angle of elevation), திசையில் கோணம் (angle of bearing or azimuth) ஆகியவற்றைக் கொண்டு நிர்ணயிக்கப்படுகின்றது. திசையில் கோணம் என்பது, ஓர் இலக்கு கிடைத்தளத்

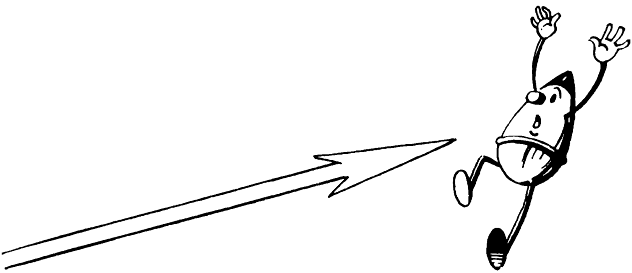
தில் (horizontal plane) உண்டாக்கும் கோணம். இக்கோணம் ஒரு குறிப்பிட்ட இடத்திலிருந்து (வழக்கமாக வடக்கிலிருந்து) வலஞ்சுழித்த திசையில் (clockwise direction) அளக்கப்படுகின்றது. ஏற்றக் கோணம் என்பது இலக்கின் ''செங்குத்து உயரத்திலிருந்து'' (அதாவது புவிப்பரப்புக்குச் செங்குத்தான கோட்டிலிருந்து) வரையப்படும் அதன் சாய்வுக்கோடு, புவிப்பரப்புக் கிடைக் கோட்டுடன் (horizontal line) உண்டாக்கும் கோணம் ஆகும். ஏற்றக் கோணத்தையும், திசைவில் கோணத்தையும் உள்ளடக்கிய இரு தளங்களும் ஒரு நேர் கோட்டில் வெட்டிக் கொள்கின்றன. அந்த நேர்கோட்டில் தான், இலக்கின் இருப்பிடம் உள்ளது. இலக்கின் குறிதூரமானது (range) நேர்கோட்டில் இலக்கு இருக்கும் இடத்தினைக் குறிக்கிறது. எனவே ஓர் இலக்கின் இருப்பிடத்தை அறிய, அதன் குறிதூரம், ஏற்றக் கோணம், திசைவில் கோணம் ஆகிய மூன்றும் தேவைப்படுகின்றன. முதலில் இலக்கின் குறிதூரம் எப்படி அளவிடப்படுகின்றது என்பதனைப் பார்ப்போம்.

ரேடாரை இயங்கச் செய்கிறோம், அதன் அலைப் பரப்பி ஏரியல் (transmitting aerial) ஒளியின் வேகத்தில் செல்லும் மின்காந்த அலைகளை (electromagnetic waves) இலக்கினை நோக்கி அனுப்புகிறது. அதே சமயத்தில் எலக்ட்ரான் கற்றை (electron beam) ரேடார் திரையில் ரேடார் தொகுதியின் இடத்தைக் குறிக்கும். புள்ளியிலிருந்து புறப்பட்டு மறுகோடிக்கும், பின்பு மறுகோடியிலிருந்து திரும்

பவும் புறப்பட்ட இடத்திற்கும் சென்று, திரையைத் தடவிக் கொண்டு அலைவுறும். சைகை அலை செல்லும் பாதையில் இலக்கு எதுவும் இல்லை என்றால், அதற்கு அறிக்குறியாக ஒளியுடன் கூடிய ஒரு நேர் கோட்டினை எலக்ட்ரான் கற்றை ரேடார்த் திரையில் வரையும், மாறாக இலக்கு ஏதாவது இருந்ததென்றால் சைகை அலைகள் இலக்கில் பட்டு எதிரடிக்கின்றன. எதிரடிக்கப்படும் அலைகள் ஏற்பி ஏரியலை (receiving aerial) வந்தடைகின்றன. இப்போது திரையில் காணப்படும் வரைகோட்டில் தெறிப்பு அல்லது துண்டிப்பு உண்டாக்கப்படும். இதைக் கொண்டு சைகை அலை செல்லும் பாதையில் இலக்கு உள்ளது என்பதனைத் தெரிந்து கொள்ளலாம். அடுத்து அனுப்பப்படும் சைகைகளுக்கும் இதே போலவே நேரும். இலக்கானது ரேடாரை நோக்கி வந்து கொண்டிருந்தால், சைகை அலைகள் அதன் மீது பட்டுத் திரும்பி வந்து சேர்வதற்குரிய நேரம் குறைந்து செல்கிறது, கோட்டில் துண்டிப்பு மேலும்



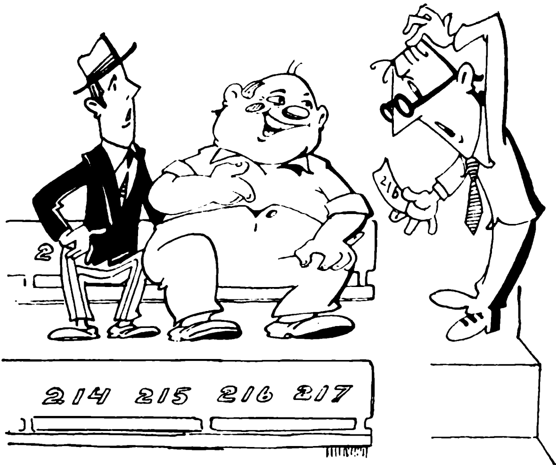
மேலும் சீக்கிரமே ஏற்படுகிறது. சைகை அலை செல்லும் வேகம் மாற்றமின்றி நிலையாக இருப்பதால், அது இலக்கின் மீது பட்டு எதிரடிக்கப்பட்டுத் திரும்பவும் புறப்பட்ட இடத்திற்கே வந்து சேர எடுத்துக் கொள்ளும் நேரமானது, இலக்கிற்கும் ரேடார் நிலையத்திற்கும் இடையிலுள்ள தூரத்தைப் போல் இரு



மடங்கு தூரத்திற்குச் சரிசம விகிதப் பொறுத்தத்தில் உள்ளது. திரையில் மைல் அல்லது கிலோமீட்டர் அளவைகளைக் காட்டும் அளவைக்கோடுகள் குறிக்கப்பட்டிருக்கும். சைகை அலை போய் வரும் தூரத்தினை இவற்றின் துணை கொண்டு தெரிந்து கொள்ளலாம். இந்தத் தூரம்தான் இலக்கின் குறி தூரம் எனப்படுவது. இது எத்தனை மைல் அல்லது கிலோமீட்டர் என்பதனை துண்டிப்பு காணப்படும் இடத்திலுள்ள அளவைக் கோடு அறிவிக்கிறது. திரையில் அளவைக் கோடுகள் அதிகமாகக் குறிக்கப்பட்டிருந்தால், குறிதூரம் அளந்து அறியப்படும் துல்லிதம் அதற்கு ஏற்ப அதிகரிக்கிறது.

அளவைக் கோடுகளை அதிகமாக்கிக் குறிதூரத்தின் துல்லிதத்தை அளவின்றி அதிகரிக்கலாம் என்பதாக நினைக்கத் தோன்றும். ஆனால் அது சரியல்ல. நீங்கள் கால் பந்தாட்டப் போட்டியினைப் பார்க்கச் செல்கின்றீர்கள்; அரங்கத்தில் உங்களுக்கு உரிய இருக்கை 216 ஆம் எண் இருக்கை என்பதாகக் கொள்வோம். அதை நீங்கள் தேடிக் கொண்டு வரும் போது, 124 ஆம் எண் இருக்கையை வந்தடைகிறீர்கள். அதற்கு அடுத்தாற் போல் குதிர் போல் பருத்த ஓர் ஆள் அமர்த்திருக்கிறார். அந்த ஆளுக்கு அடுத்தபடி 218ஆம் எண் இருக்கை இருப்பதைப் பார்க்கிறீர்கள். திகைப்புற்று விழித்தபடி அது எப்படி இருக்க முடியுமென்று பரிசீலிக்கிறீர்கள். குதிர் போன்ற ஆள் மூன்று பேருக்குரிய இருக்கைகளில் அமர்ந்திருக்கிறார் என்பது தெரிகிறது.

ரேடார் திரையில் அளவைக் கோடுகளை அளவின்றி அதிகரித்து நெருக்கமாக்கிச் சென்றால் இதே போன்ற நிலைமையே ஏற்படும். இலக்கால் எதிடிக்கப்பட்டுத் திரும்பி வரும் சைகை ஒவ்வொன்றும் ஒன்றுக்கு மேற்பட்ட அளவைக் கோடுகளை ஆக்கிரமித்துக் கொண்டு விடும். வீச்சு அளப்பவரால் வீச்சைத் துல்லியமாகக் கூற முடியாமற் போகும். துடிப்பு நேரத்தைக் குறித்துக் குறுகிய துடிப்புகளைப் பயன்படுத்துவது இந்தச் சிக்கலிலிருந்து வெளிப்படுவதற்கு ஒரு வழியாகும். இப்போது எதிரடிப்புச் சைகை குறுகலானதாக இருக்கும்; இரண்டு, மூன்று அளவைக் கோடுகளை ஆக்கிரமித்துக் கொண்டுவிடாது.



மேலும் குறுகிய துடிப்புகளைப் பயன்படுத்துவதன் மூலம் நமது நுகர்வாளர் கோரிய மூன்றுவது சிறப்பாகிய சிறந்த பிரித்துணர் பண்பு வரப் பெறும்படியும் செய்ய முடியும். இரு இலக்குகள் மிக அருகாமையில் இருந்தால், அவைகளில் பட்டு எதிரடிக்கும் சைகை அலைகள் ஒன்றோடொன்று கலந்து ஒரே அலையாக மாறி விடும். அப்போது இலக்குகள் பிரித்துணரப்படவில்லை என்று ரேடார் ஊழியர்கள் கூறுவார்கள். இதனைத் தெளிவாகப் புரிந்து கொள்வதற்கு, கால் பந்து ஆடும் போட்டியாளர்களது படங்களைக் கவனியுங்கள். ஆட்டக்காரர்களை நீங்கள் மேலிருந்து கவனிப்பதாக வைத்துக் கொள்ளுங்கள். இடப்பக்கத்துப் படத்தில் இரண்டு பேரும் தனித்தனியாக நிற்பதையும், அவர்

களுக்கிடையே இருக்கும் பந்தையும் தெளிவாகக் காண்கிறீர்கள்—அதாவது இலக்குகளை நீங்கள் பிரித் துணருகிறீர்கள். ஆனால் வலப்பக்கத்துப் படத்தில் ஆட்டக்காரர்கள் எத்தனை பேர் என்பது கூட சரியா கத் தெரியவில்லை, பந்து இருப்பது தென்படவே இல்லை—யாவற்றையும் நீங்கள் மேலிருந்து கவனிப் பதை மறந்துவிட வேண்டாம். ஆட்டக்காரர்கள் சிலர் சேர்ந்து ஒரே உருவமாகத் தெரிகிறார்கள் என் பதற்கு மேல் அதிகம் உணர வழியில்லை—அதாவது இலக்குகளை உங்களால் பிரித்துணர முடியவில்லை, இரு இலக்குகளும் ஒன்றாய்ச் சேர்ந்து ஒரே இலக் காய் உங்கள் கண்ணில் படுகின்றன. பிரித்துணர் பண்பு என்றால் என்ன என்று இப்போது புரிகிறது அல்லவா?

ரேடாரிலிருந்து வெளிச்செல்லும் சைகை அலை களைக் குறுகலாய் ஆக்குவோமானால், ரேடார் திரை யில் தெரியும் துண்டிப்புகளும் குறுகலாகத் தெரிகின் றன. துடிப்பின் அகலம் இலக்குகளுக்கு இடையே உள்ள விலக்கத்தைக் காட்டிலும் சிறிதாகி விடும் போது, அவ்விலக்குகளைப் பிரித்துணர முடிகிறது, ஒவ்வொரு இலக்கும் தனித் தனியே தெரிகிறது. நுகர்வாளர் தமது ரேடார் வீச்சை அளந்து சொல் வதுடன் எத்தனை இலக்குகள் என்று தெளிவாகக் காட்ட வேண்டுமென்றும் விரும்புகிறார். ஆகவே குறு கலான சைகைகளே நமக்கு வேண்டும் என்று சொல் வீர்கள். ஆனால் நீளமான சைகைகளே நமக்குத் தேவை என்று முன்பு கண்டோம். திரும்பவும் முரண் பாட்டை வந்தடைகிறோம். இந்த முரண்பாட்டைத்



தவிர்ப்பதற்கு ஒரு வழி இருக்கிறது. அது என்ன என்பதை பிற்பாடு தெரிந்து கொள்ளலாம். தற் போதைக்கு என் சொல்லை நம்பி, இருக்கிறது என் பதை ஏற்றுக் கொள்ளுங்கள்.

இலக்கின் ஏற்றக் கோணத்தையும், திசையில் கோணத்தையும் ரேடார் எப்படி நிர்ணயிக்கிறது? இப்பணியினை ''திசை இயல்'' (directional) ஏரி யல் செய்கின்றது. ''திசை இயல்'' என்றால் என்ன? ரேடாரின் ஏரியல் குறிப்பிட்ட ஒரு திசையில் (அல் லது திசைகளில்) மட்டும் ஆற்றலோடு ரேடியோ அலைகளை அனுப்பவோ ஏற்கவோ செய்கிறது என் பதே இதன் அர்த்தம். இதனை ஒரு வரைப்படத்தில் (graph) குறிப்பிட்டால், அதற்குத் திசை இயல் பாங்கு (directional pattern) என்று பெயர். இது ஒரு மையக் கற்றையையும் சில பக்கவாட்டுக் கற்றைகளையும் கொண்டதாகும். வேண்டாத திசை களில் தவிர்க்க முடியாதபடி பரப்பப்படும் (அல்லது வேண்டாத திசைகளிலிருந்து ஏற்கப்படும்) சிறு அளவிலான சக்தியை இந்தப் பக்க் வாட்டுக் கற் றைகள் குறிக்கின்றன.

ரேடாரின் மையக் கற்றை (main beam) சரியாக இலக்கினை நோக்கி இருப்பதாக வைத்துக் கொள் வோம். அதனுடைய கோண ஆயத் தொலைவுகள் (angle coordinates) மூலம் இலக்கின் ஏற்றக் கோணத்தையும், திசைவில் கோணத்தையும் கணக்கிடலாம். மையக் கற்றை இரண்டு அல்லது அதற்கும் அதிகமான இலக்குகளில் பட்டு எதிர டிக்கப்படும் போது, அவ்விலக்குகளைப் பிரித்துணர முடியாத நிலைமை ஏற்படுகின்றது. ஒரே இலக்கு இருப்பது போன்ற தோற்றம் ஏற்படும். அல்லது கோணங்கள் பிரித்துணர முடியாதனவாகி விடும். இலக்குகளைப் பிரித்துணர, ஒடுக்கமான (narrower) அலைக்கற்றையினைப் பயன்படுத்த வேண்டும். ஏரிய லின் எந்த நிலையிலும் ஒரே இலக்கின் மீது மட்டும் படும்படி கற்றையினை ஒடுக்கமானதாக்கி விட்டோ மானால், கோணப் பிரித்துணர் பண்பை முழு அளவுக் குப் பெற்ற ரேடார் தயாராகிவிட்டதாக நுகர்வா ளரிடம் நாம் பெருமையுடன் கூறலாம். ஆனால் துர திருஷ்டவசமாகச் சில அடிப்படைக் காரணங்களால் இதனைச் செய்ய முடியாமல் போய் விடுகின்றது. ஒன்று: ஏரியல் கற்றையினை ஒரு வரம்புக்கு மேல் ஒடுக்கமானதாக ஆக்க முடியாது. (அப்படி ஆக்க வேண்டுமென்றால், அளவு மீறி பெரிதான ஏரியல் தேவைப்படுகின்றது—இது பிற்பாடு தெளிவுப்படுத் தப்படும்). மற்றொன்று: ஒரே திசையில் பல இலக் குகள் அமைந்து விடுகின்ற நிலைமை ஏற்பட்டு விட லாம். அப்போது இலக்குகளைக் குறிதூரத்தில் பிரித்

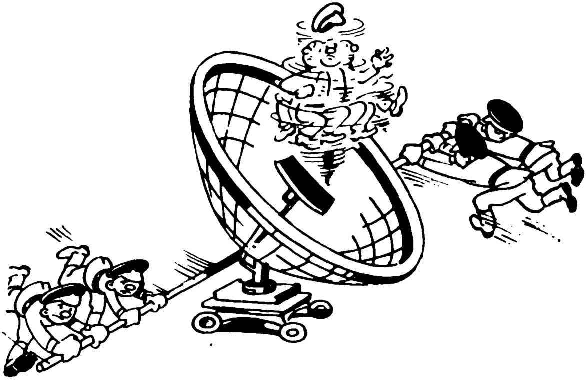
துணர முடியுமே தவிர கோணங்களில் பிரித்துணர முடியாமற் போய்விடும்.

நடைமுறையில் ''எல்லையற்ற செயல் திறன்'' வேண்டும் என்று யாரும் கோர மாட்டார். சாதாரணமாகத் தேவைப்படுவது ''நல்ல செயல் திறன்தான்''.

ரேடாரைப் பொறுத்தவரை, ஓரளவுக்கு நெருங்கி அமைந்த இலக்குகளை அது பிரித்துணரத் தக்கதாக இருக்க வேண்டும் என்பதுதான் வழக்கமாய் எழுப்பப்படும் கோரிக்கை. ''ஓரளவுக்கு நெருங்கி அமைந்தவை'' என்பது, குறிப்பிட்ட ரேடாரின் பணியைப் பொறுத்து, பல்வேறு விதமாகவும் அர்த்தப்படக் கூடியதாகும். சில சமயம் ஒருசில நிமிடம் (minutes) அல்லது பாகை (degrees) விலகியமைந்த இலக்குகளைப் பிரிந்துணர்ந்தால் போதுமானதாக இருக்கும், சில சமயம் விஞடிக் கணக்கிலும் பிரித்துணரத் தக்கதாய் இருக்க நேரலாம்.

ஆக, குறுகலான அலைக் கற்றையானது துண்டிப்புகளை ஒன்ருேடொன்று இணையும்படியான நிலைமையை அதிக அளவுக்குத் தவிர்த்து, இலக்கின் ஆயத் தொலைவுகளைத் துல்லிதமாய் நிர்ணயிக்கிறது. இத்தகைய அளவைக் கோடுகளைக் கொண்ட திரையை இப்போது உபயோகிக்க முடிகிறது. எனவே குறுகலான ஒளிக் கற்றைக்கு நாம் முதலிடம் தர வேண்டும் என்ருகிறது. குறுகலான ஒளிக் கற்றையைப் பெறுவது எப்படி?

ஏரியலின் அளவு பெரிதாக இருந்தால் கற்றை குறுகியதாக இருக்கும்; கற்றை குறுகியதாக இருந்தால் கோண ஆயத் தொலைவுகளைத் துல்லிதமாகக்



கணக்கிட முடியும்; சிறந்த பிரித்துணர் பண்பினையும் பெறலாம் என்பது ரேடார் தத்துவத்திலிருந்து தெரிய வருகிறது. நுகர்வாளர் கோரும் ரேடாருக்குப் பெரிய ஏரியல் தேவைப்படுகின்றது. ஏரியல் பயன்படுத்திக் கொள்ளும் அலை நீளம் மாற்றமின்றி நிலையாக இருக்க வேண்டும் என்பதைக் கூறத் தேவையில்லை. பல கிலோமீட்டர் அளவுள்ள மிகப் பெரிய ஏரியலை உருவாக்க வேண்டுமானால், பூமியின் வளைவு (curvature of earth), ஏரியலின் ஒரு முனைக்கும், மறுமுனைக்கும் இடையே உள்ள வெப்ப நிலை வேறுபாடு, இன்ன பலவற்றையும் கணக்கில் எடுத்துக் கொள்ள வேண்டும்.

ஏரியலின் அலைக் கற்றையில் வந்து படும் இலக்கையே இது வரை பரிசீலித்தோம். ஆனால் இலக்கு இக்கற்றையில் தானாகவே வந்து படுமென்று எந்த நிச்சயமும் இல்லை. எனவே ரேடாரின் ஏரியல் முனைப்

புடன் செயல்பட்டு இலக்குகளைத் தேடிப் பிடிப்பது அவசியமாகி விடுகிறது.

தொடக்கக் காலத்தில் ரேடார்த் தொகுப்புகள் மோட்டார் வண்டி கூண்டின் மீது பொருத்தப்பட்டு வந்தன. கூண்டினுள் ரேடார் இயக்குநர் இருப்பார். வண்டி அப்படியே இருக்க, கூண்டும் ஏரியலும் உள்ளே இருக்கும் இயக்குநருடன் கூட செங்குத்து அச்சைச் சுற்றிச் சுழற்றப்பட்டன. ஏரியல் சுழலும் போது, அலைக்கற்றை 360° சுழன்று எல்லாத் திசைகளிலும் தொடர்ந்து விண்ணை ஆராயும். கூண்டின் சுழற்சி வேகம் அதிகமாக அதிகமாக அலைக் கற்றை மேலும் மேலும் வேகமாய் விண்ணின் ஒவ்வொரு பகுதியையும் பரிசீலித்தது. ஆகவே எந்த இலக்கும் அதன் கவனத்தில் படாமல் தப்புவது மேலும் மேலும் அரிதாகியது.

ஏரியல் சுழற்றப்படும் வேகத்திற்கு வரிக்கண் ணோட்ட வேகம் (speed of scan) என்று பெயர். விமானங்கள் குறைந்த வேகத்தில் பறக்கும் போது, அவற்றைக் கண்டுபிடிப்பதற்குக் குறைந்த வரிக் கண்ணோட்ட வேகம் கொண்ட ரேடாரே போது மானது. ஆனால் அதிவேக விமானங்களாய் இருப்பின், குறைந்த வரிக் கண்ணோட்ட வேகம் கொண்ட ரேடாரால் அவற்றைக் கண்டுபிடிக்க முடியாது. எனவே வரிக் கண்ணோட்ட வேகத்தினை அதிகப்ப டுத்த வேண்டியதாயிற்று. வண்டிக் கூண்டும் ஏரிய லுடன் சேர்ந்து சுழலும் வரை இதைச் செய்ய வழி யில்லை. ஏனென்றால் சுழற்சியினை அதிகப் படுத்தினால் கூண்டினுள் இருப்பவர்களுக்குத் தலை சுற்றும்,

ரேடார் வேலையில் அவர்கள் கவனம் செலுத்த முடியாது. ஆகவே பிற்பாடு செய்யப்பட்ட ரேடார்களில் இயக்குவரின் கூண்டும் பொறிகளும் சுழலாதபடி நிலைத்திருக்க ஏரியல் மட்டும் சுழலும்படி அமைக்கப் பட்டது.

ஒலியை விட வேகமாகச் செல்லும் சூப்பர்சானிக் விமானங்களும் செயற்கைத் துணைக் கோள்களும் விரைவேகங்களில் செல்லும் ஏவுகணைகளும் வந்ததும் பல மீட்டர் நீளம் கொண்ட ஏரியல் களை உபயோகிக்க வேண்டியதாயிற்று. இவ்வளவு பெரிய ஏரியல்களைச் சுழற்றுவது முடியாத காரியம். எனவே இயந்திரவியல் முறையில் ஏரியலைச் சுழற்று வதற்குப் பதிலாக, எலக்ட்ரானிக் முறை—அதாவது பல ''கட்ட இடைவெளித் தொடர்கள்'' (phased arrays) என்ற முறை பழக்கத்துக்கு வந்தது. இடைவெளி விட்டுத் தொடர்ச்சியாகப் பல இருமுனைகள் (dipoles) அமைந்துள்ள தொடருக்குக் இடைவெளித் தொடர் என்று பெயர். அதன் செயல் முறையைப் புரிந்து கொள்ள நீச்சல் போட்டியைப் பயன்படுத்திக் கொள்வோம்.

ஒரு நீச்சல் குளத்துக்கு வருமாறு உங்களை அழைக்கிறேன், ஒரே திறமையும் சக்தியும் கொண்ட எட்டு நீச்சல்காரர்கள் முடிவெல்லைச் சுவருக்கு நீந்தி வந்து மேலே ஏறி ஒன்று சேர வேண்டும். அவர்கள் ஒரு முனையிலிருந்து தொடங்கி மறுமுனைக்கு வந்து சேர வேண்டும். அவர்கள் வந்தடைய வேண்டிய முடிவெல்லை சுவரில் நின்று கொண்டு நாம் அவர்களைக் கவனிப்போம். எல்லோரும் ஒரே திறமையும் சக்தி

யும் கொண்டவர்களாகையால், சேர்ந்தாற் போல அவர்கள் இலக்குச் சுவருக்குச் செங்குத்தான திசையில் நீந்தி வருவார்கள். எட்டுப் பேரும் ஒரே நேரத்தில் முடிவெல்லைச் சுவரை அடைந்து மேலே ஏறுவார்கள், ஆகவே எட்டுப் பேரும் ஒரே நேரத்தில் மேலே வந்து நிற்கக் காண்போம். இப்போது நீச்சல் குளம் நீள் சதுரமாய் இல்லாமல் ஒழுங்கற்றதாய் இருப்பதாக, அதாவது பக்கச் சுவர்களுக்குத் துவக்கச் சுவர் நேர்க்கோணத்திலும் முடிவெல்லைச் சுவர் சாய்வுக் கோணத்திலும் இருப்பதாகக் கொள்வோம். இந்த அதிசய நீச்சல் குளத்தில் ஒருவர் நீந்தி வருகின்றதூரம் குறுகியதாகவும், இன்னொருவர் நீந்தி வருகின்றதூரம் அதிகமாகவும் இருக்கும். குறுகிய தூரத்தில்நீந்துபவர் முடிவெல்லைச் சுவருக்கு முதலில் வந்து சேர்வார். மற்றவர்கள் ஒருவர் பின் ஒருவராக சிறிது நேர இடைவெளிகளுக்குப் பிறகு வந்து சேர்வார்கள். அடுத்து அடுத்து நீந்தி வருபவர்களுக்கு இடையில் உள்ள நேர இடைவெளி ஒரு விஞடி என்று வைத்துக் கொள்வோம். முதலாமவர் வந்து சேர்ந்த ஒரு விஞடி இடைவெளிக்குப் பிறகு, இரண்டாவது ஆள் வந்து சேர்வார். இரண்டாமவர் வந்து சேர்ந்த ஒரு விஞடி இடைவெளிக்குப் பிறகு மூன்ருமவர் வந்து சேர்வார். முதலாமவர் வந்து சேர்ந்த பிறகு, மற்ற எல்லோரும் வந்து சேர்ந்து ஒன்ருகச் சேருவதற்கு 7 விஞடி ஆகும்.

இனி, ஏரியல்களுக்குத் திரும்புவோம். ஒரு பெரிய ஏரியல் பல இருமுனைகளை (அல்லது ஒவ்வொன்றும் ஏரியலாக இயங்கும் சிற்றுருவ அமைப்புகளைக்)



கொண்டு அமைந்திருப்பதாக வைத்துக் கொள்வோம். இந்தத் தொடருக்குச் செங்குத்தான திசையில் இருந்து வரும் சைகை அலைகள் எல்லாம் தொடரில் உள்ள இருமுனைகளை ஒரே நேரத்தில் தொடும் ('நீச்சல்காரர்கள் எல்லோரும் ஒழுங்கான அமைப்பில் உள்ள நீச்சல் குளத்தின் முடிவெல்லைச் சுவரினை ஒரே நேரத்தில் தொடுவதைப் போல). இச்சைகை அலைகள் எல்லாம் ஒன்று சேர்க்கப்பட்டு ஏற்பியின் அடுத்தடுத்த கட்டங்களுக்கு வழிப்படுத்தப்படுகின்றன. தொடருக்குச் செங்குத்தான திசையில் அல்லாமல், வேறு வேறு திசைகளிலிருந்து வரும் சைகை அலைகள் தொடரில் உள்ள இருமுனைகளை வெவ்வேறு நேரத்தில் தொடும். எல்லாச் சைகை அலைகளையும் ஒன்று சேர்க்க வேண்டுமானால், முதலில் வந்து சேரும் அலைகளையெல்லாம் கடைசி அலை வந்து சேரும் வரை கொஞ்சம் தாமதப் படுத்த வேண்டும் (ஒழுங்கற்ற நீச்சல் குளத்தில் நடைபெறுவதைப் போல்). இந்தப் பணியினை எலக்ட்ரானிக் சுற்றுகள் (electronic circuits) செய்கின்றன, இவற்றுக்குத் தாமத மின் சுற்றுக்கள் (delay lines) என்று பெயர். ஒவ்வொரு இருமுனையும் அதற்கே உரித்தான தாமத மின்சுற்று கொண்டதாக உள்ளது. சைகை அலைகள் வரும் திசை ஏரியலின் செங்குத்துத் திசையிலிருந்து அதிகமாக

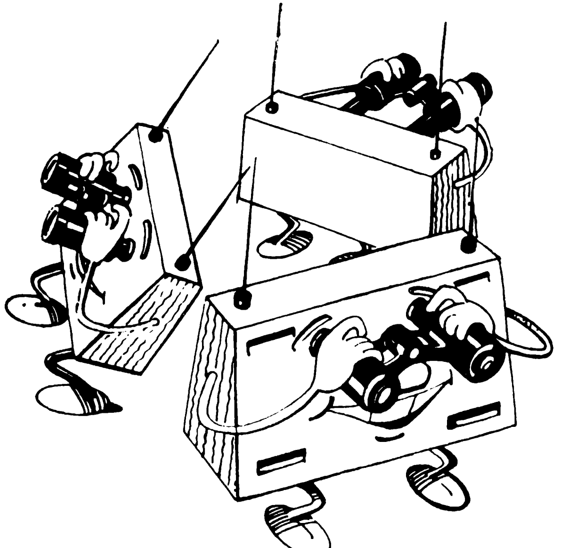
விலகிச் செல்ல அடுத்தடுத்த இருமுனைகளுக்கு இடையிலான தாமதமும் அதிகமாகிக் கொண்டே போகும். தாமதத்தை மாற்றிச் செல்வதன் மூலம் கட்ட இடைவெளித் தொடர் (phased array) ''நோக்குகின்ற'' திசையினை மாற்றிச் செல்லலாம். இத்திசையிலிருந்து வரும் அலைகளை எல்லாம் சேர்த்து ஒன்றுபடுத்தலாம். இத்திசையினைத் தவிர, வேறு திசைகளிலிருந்து வரும் அலைகளைச் சேர்த்திட முடியாது.

சைகை அலைகளை ஏன் சேர்க்க வேண்டும் என்ற கேள்வி எழலாம். அவைகளைச் சேர்த்து அலைக்கற்றைகள் (beams) உண்டாக்கப்படுகின்றன; அலைக்கற்றைகள் உண்டாவதால் திசைவில் கோணத்தையும், ஏற்றக் கோணத்தையும் வேகமாக வரிக்கண்ணோட்டம் இட முடிகிறது; மேலும் சேர்க்கப்பட்ட அலைகள் வலுவானதாக இருப்பதால், அவைகளை ஏற்பதும் செலுத்துவதும் எளிதாகின்றது.

மேலே கூறப்பட்டவையெல்லாம், அலைபரப்பி ஏரியலாகச் செயல்படும் ஒரு கட்ட இடைவெளித் தொடருக்கும் பொருந்தும். தாமத மின்சுற்றுக்களின் மூலம், இணைப்புச் சைகையினை (composite signal) விரும்புகின்ற திசையில் அனுப்பலாம். நூதன முறையில் அமைந்த எலெக்டிரானிக் அமைப்பு முன்கூட்டி நிர்ணயிக்கப்பட்ட முறையில் ஒவ்வொரு இருமுனையிலும் தாமதத்தின் நேரத்தை மாற்றுகிறது. ஏரியலின் அலைக்கற்றை விசும்பிலே இலக்குகளைத் தேடிப் பிடிக்கிறது. இதுவேதான் கட்ட இடைவெளித் தொடரின் செயல்முறை.

ஒரேயொரு கட்ட இடைவெளித் தொடரின் மூலம், விண்வெளியில் (space) ஒரு குறிப்பிட்ட பகுதியினைத்தான் ஆராய முடியும். முழு வட்டம் அனைத்தையும் (360°) ஆராய வேண்டுமானால் பல கட்ட இடைவெளித்தொடர்கள் தேவைப்படுகின் றன. அவை ஒவ்வொன்றும் ஒவ்வொரு பகுதியினை ஆய்வு செய்யும்.

இவ்வகையான அமைப்பின் வரிக்கண்ணோட்ட வேகம், ஒவ்வொரு தொடரும் கொண்டுள்ள வரிக் கண்ணோட்ட வேகத்தினைப் பொறுத்து உள்ளது. நுகர்வாளர் வரிக்கண்ணோட்ட வேகம் அதிகமாய்



இருக்க வேண்டுமென்று விரும்புகிறார்? பணத்தையும் முயற்சியையும் அதிகமாகச் செலவிட்டால் இதனைச் செய்வது முடியாத காரியமல்ல.

இதுவரை நாம் அறிந்து கொண்டதைத் தொகுத்துக் கூறுவோம். நுகர்வாளரின் கோரிக்கைகளில் ஒரு பாதியைத் திருப்தி செய்வது எப்படி என்று தெரிந்து கொண்டு விட்டோம். எஞ்சிய கோரிக்கைகளையும் திருப்தி செய்கையில் எழும் முரண்பாட்டைத் தீர்ப்பது எப்படி? சிக்கலிலிருந்து விடுபடுவதற்கு வழக்கமான ஒரு வழி சமரச வழி. அடுத்த அத்தியாயத்தில் இதை விவாதிப்போம்.

ரேடார் அதனை எப்படிச் செய்கிறது (1)

வாசகரின் பொறுமையைச் சோதிக்காமல், இதற்கு நேரடியாகவே பதில் சொல்லலாம், ஆனால் புரிந்து கொள்வது கொஞ்சம் கடினமாகவே இருக்கும். பொருத்தமான சைகை அலையினை அனுப்புவதன் மூலமும் திரும்பி வருகின்ற எதிரடிப்பு அலையினை இசைவான வடிப்பானுள் (matched filter) செலுத்துவதன் மூலமும் ரேடாரானது இந்த முரண்பாட்டுக்குத் தீர்வு காண்கிறது. இனி விளக்கமான முறையில் பதில் அளிக்க முயலுவோம்.

அமைப்புத்திட்ட உருவரைகளை ரேடியோ பொறியாளர்கள் பொறிகளாகவும் ,சாதனங்களாகவும் மாற்றும் முன், ஆராய்ச்சி-வளர்ச்சித் துறை நிபுணர்கள் தயாரிக்கப்படப் போகும் ரேடார் பயன்

படுத்த வேண்டிய சைகை என்னவென்பது குறித்து மண்டையை உடைத்துக் கொள்கிறார்கள், வாதப் பிரதி வாதங்களில் முட்டி மோதிக் கொள்கிறார்கள். பிரச்சினை மெய்யாகவே மெத்தக் கடினமானது.

சைகையானது எத்தகையதாக இருக்க வேண்டுமென்பதை நினைவுபடுத்திக் கொள்வோம். சைகையானது போதிய அளவு சக்தி கொண்டதாக இருக்க வேண்டும். நொடிப் பொழுதிலான திறன் உற்பத்தி வரம்புக்கு உட்பட்டதாய் இருப்பதால், நடைமுறை சாத்தியமான அளவுக்குச் சைகை நீண்டதாக இருக்க வேண்டும். ஆனால் இலக்கின் இருப்பிடத்தை அறியவதல்உயர் துல்லிதமும்,சிறப்பானபிரித்துணர்பண்பும் வரப்பெறும் பொருட்டு சைகையானது கூடுமான அளவுக்குக் குறுகலானதாய் இருப்பது நல்லது. தவிரவும், ரேடார் சைகையானது இரைச்சலினின்றும், குறுக்கீடினின்றும் (interference) வேறுபடுத்தி இனங் காணத் தக்க முறையில் இருக்க வேண்டுமென்று நுகர்வாளர் விரும்புவார். பல வகையான இரைச்சல்களும் இருப்பதால் பிரச்சினை மேலும் சிக்கலாகி விடுகிறது. ஏற்பியில் ஏற்படும் இரைச்சல், மனிதனால் உண்டாக்கப்படும் இரைச்சல், அருகாமையிலுள்ள மின்விசை நிலையத்தால் ஏற்படும் குறுக்கீடு —இப்படிப் பல வகை இடையூறுகள் இருக்கின்றன. போர்க் காலத்தில் பகைவன் திட்டமிட்டுச் செய்யும் குறுக்கீடுகளையும் சமாளித்தாக வேண்டும். இப்படிப் பல வகையான இடையூறுகளுக்கும் மத்தியில், பலங் குன்றி மெல்லியதாகிவிட்ட எதிரடிப்பு

அலேயை அடையாளம் கண்டு கொண்டாக வேண்டும்.

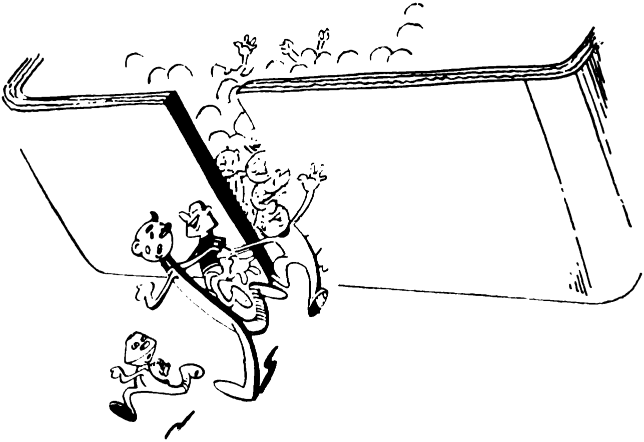
ஆகவே ஆராய்ச்சி-வளர்ச்சித் துறை நிபுணர்கள் மிகவும் கடினமான ஒரு பிரச்சினையை எதிர்நோக்குகின்றனர்.

இது போதாதென, சாதனங்களின் தயாரிப்பாளர்களான பொறியாளர்கள், தீர்வுகள் யாவும் தமது நடைமுறைக்கு ஒத்தனவாய் இருக்க வேண்டும் என்கிறார்கள். ஆராய்ச்சி-வளர்ச்சித் துறையினரது கருத்துக்கள் எவ்வளவுதான் உன்னதமாய் இருப்பினும், அவை செய்முறைக் கலேயின் தற்கால நிலேக்கு ஏற்றனவாகவும், உற்பத்திச் செலவை மிதமிஞ்சி அதிகமாக்கி விடாமலும் இருந்தாக வேண்டும். நடைமுறையில் ஏற்கெனவே சோதித்துப் பார்க்கப் பட்டு உற்பத்தியாகி வரும் உறுப்புகளேக் கொண்டு தயாரிக்கப்படக் கூடிய ரேடாராய் இருந்தாக வேண்டும். மேலும் மேலும் சக்தி வாய்ந்த அலே பரப்பிகளும் மேலும் மேலும் பெரிய ஏரியல்களும் கட்டப் பட்டன. இதுகாறும் கையாளப்படாததான அலே நீளங்கள் சோதித்துப் பார்க்கப்பட்டு ஏற்கப்பட்டன. முடிவில் தற்போதுள்ள அமைப்புத் திட்டங்களில் மேலும் மேம்பாடுகளுக்கு வழியில்லாத நிலேமை ஏற்பட்டது. அதேபோது தேவைகள் மேலும் மேலும் கடுமையாகிச் சென்றன. இவ்வாறுதான் ஆராய்ச்சி-வளர்ச்சித் துறையினர் தலேமை நிலே பெற்றனர். தக்க சைகைகளேப் பயன்படுத்துவதன் மூலமும், இவற்றைக் கண்டறிவதற்கான புதிய முறைகள் மூலமும்தான் மேலும் தொடர்ந்து மேம்படுத்த முடியும்

என்பதை இத்துறையினர் நிரூபித்தனர். ரேடார் விஞ்ஞானத்திலும் கலையிலும் பெரிய முன்னேற்றங்கள் ஏற்பட்டன.

ரோம் நகரத்தை அழிவினின்றும் காப்பாற்றிய புகழ் பெற்ற வாத்துக்களைப் போல, ரேடாரின் முன்னேற்றத்தில் தேக்க நிலையிலிருந்து காப்பாற்றிய சைகை அலைகள் பலவகைப்படும். அவற்றில் பல் கூட்டுத் தொகுதிச் சைகை அலை (complex signal), அகலப்பட்டை சைகை அலை (broad-band signal), இணைப்புச் சைகை அலை (composite signal) என்றும் மற்றும் பல வகைகளும் உண்டு. பெயர்களைத் தெரிந்து கொண்டோம், இனி சாரப் பொருளைத் தெரிந்து கொள்வோம்.

ரேடார் சைகை சம்பந்தமான முரண்பாடான தேவைகளில் ஓர் இடுக்கு இருப்பதை விஞ்ஞானிகள்

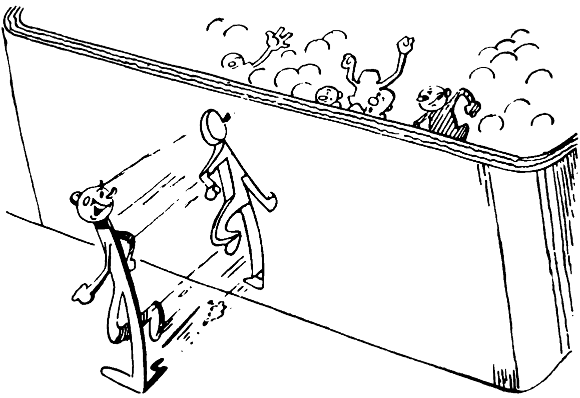


கண்டுபிடித்தனர். ஒரு புறத்தில், நீளமான சைகை அலை தேவைப்படுகின்றது; ஏனெனில் நீண்ட சைகை அலையினுல் அதிகச் சக்தியினைச் சுமந்து செல்ல முடியும். மறு புறத்தில் எதிரடித்து வரும் சைகை நல்ல முறையில் ஏற்கப்படுவதற்கு, குறுகிய அலை தேவைப்படுகின்றது; ஏனெனில் குறுகிய அலையாய் இருக்கையில் சிறந்த பிரித்துணர் பண்பு வரப் பெறுவதோடு, கோண ஆயத் தொலைவுகளைத் தெளிவாகத் தீர்மானிக்க முடிகிறது. அனுப்புவதற்கு நீண்டதாயும், ஏற்பதற்குக் குறுகியதாயும் இருக்கும்படியான சைகை அலைகளை உருவாக்க முடியாதா? எல்லா வகையான அதிர்வெண்களுக்கும் ஏற்ற சைகை அலைகளை ரேடாரில் உருவாக்குவதன் மூலம், அதனை அடையலாம் என யோசனை கூறப்பட்டது.

இந்த வளர்ச்சியை இவ்வாறு எடுத்துரைப்பது வரலாற்றுக்கு ஓரளவு குற்றம் இழைப்பதாகி விடுகிறது. உண்மையில் இது நடைபெற்ற விதம் வருமாறு:

முப்பதிலிருந்து நாற்பது வருடங்களுக்கு முன்னுல், ரேடார் முதன் முதலில் புழக்கத்திற்கு வந்தபோது, வீச்சில் துல்லிதம் குறித்தோ, பிரித்துணர் பண்பு குறித்தோ யாரும் கவலைப்படவில்லை. ரேடார் எப்படியாவது இயங்கி இலக்கினைக் கண்டறிய வேண்டுமென்பதே அப்போது தேவைப்பட்டது. ஆனுல் ரேடார் நிபுணர்கள் அந்தக் காலத்திலேயே பல்வேறு பிரச்சினைகளுக்கிடையே வழக்கமாக வடிப்பான்கள் (filters) எனப்படும் உள்ளீடு மின் சுற்றுக்களிலும் (input circuits) கருத்து செலுத்தி வந்

தனர். இந்த வடிப்பான்கள் சாதாரண இரசாயன வடிப்பான்களை (chemical filters) போல், உள்ளே வருகின்ற இணைப்புச் சைகை அலைகளைத் தனித் தனியாகப் பிரிக்க வேண்டும். ரேடாரைப் பொறுத்த வரை, இந்த வடிப்பான் சைகை அலையினைப் பல கலப்பு அலைகளினின்றும் இரைச்சல்களிலிருந்தும் குறுக்கீடினின்றும் பிரித்தெடுக்க வேண்டும். வடிப்பானுக்குரிய இந்தப் பணியினைப் பொதுவாக ரேடியோ பொறியியலிலும், குறிப்பாக ரேடாரிலும் ஏற்பியை நாம் எதிர்பார்க்கும் சைகை அலைக்குரிய அலை வரிசையின் அதிர்வெண்ணுக்குச் சுரப்படுத்துவதன் மூலம் செய்கிறோம். இதே பணியினைத்தான், நீங்கள் வானொலிப் பெட்டியில், நாட்டிய இசையினையும் கால்பந்தாட்டப் போட்டி அறிக்கையினையும் கேட்பதற்கு அவைகளுக்குரிய அலை வரிசை அதிர்வெண்ணுக்கு ஏற்பியைச் சுரப்படுத்துவதன் மூலம் செய்கிறீர்கள். ரேடாரைப் பொறுத்த வரை, எதிர்ப் பார்க்கப்படும் சைகை அலையின் அதிர்வெண் முன் கூட்டியே நமக்குத் தெரியும்; ஏனெனில் சைகை அலையினை இலக்கை நோக்கி நாம்தாம் அனுப்புகிறோம். எனவே ஏற்பியிலுள்ள வடிப்பானை (filter) அந்த அதிர்வெண்ணுக்குச் சுரப்படுத்த வேண்டும். இப்படிச் சுரப்படுத்துவதன் மூலம் தேவையற்ற சைகைகளையும் இரைச்சலையும் தவிர்க்கலாம். ஆனால் தேவையற்ற சில சைகை அலைகள் தேவையான சைகை அலை கொண்டுள்ள அதே அதிர்வெண்ணைக் கொண்டிருந்தால், அல்லது ரேடாரில் உள்ள அதிர்வெண் பட்டையில் உள்ள அதே அதிர்வெண்களைத் தேவையற்ற



சைகை அலைகளும் கொண்டிருந்தால், அவைகளும் ஏற்பியினுல் ஏற்றுக் கொள்ளப்படும். இப்படிப்பட்ட நேரங்களில் தேவையான அலையினைப் பிரித்தெடுப் பது கடினமாகி விடும். எனவே நிபுணர்கள் உகந்த வடிப்பான்களை உருவாக்குவதில் தீவிர கவனம் செலு த்தினர்.

ஒவ்வொரு சைகை அலைக்கும் ஏற்றவாறு ஒரு வடிப்பான் வேண்டும். அந்த வடிப்பான் அந்த அலை யினை மட்டும் பிரித்தெடுக்க வேண்டும். அதோடுகூட, ஒரு குறிப்பிட்ட அதிர்வெண்ணை இரு சைகை அலை கள் கொண்டிருந்தால், அவைகளில் எது அதிகச் சக்தி வாய்ந்ததோ, அதனை மட்டும் தேர்ந்தெடுத்து, மற்றதைத் தடுத்து நிறுத்தக் கூடிய, வேலையினையும் அவ்வடிப்பான் செய்ய வேண்டும். இதுவே பொருந் திய வடிப்பான் (matched filter) என்று அழைக்கப்

படுகின்றது. சாதாரண வடிப்பான் திட்டி வாசலைப் போன்றது; திட்டி வாசலுக்குள் யார் வேண்டுமானுலும் நுழைந்து விடலாம். ஆனுல் பொருந்திய வடிப்பான் சுவரில் உருவப் பதிவுத் துளை போன்றதாகும் —இந்த உருவப் பதிவுத் துளை இவ்வுருவத்துக்கு உரிய ஆளை மட்டுமே உள்ளே நுழைய விடும். பொருந்தாத உருவத்தினர் நுழைய முடியாது.

இவ்வாறு குறிக்கோள் ஈடேற்றப்பட்டது. சைகை அலையைப் பிற குறுக்கீட்டு இரைச்சல்களிலிருந்து பிரித்துத் தரும் வடிப்பானுக்கான திட்டம் தயாரிக்கப்பட்டது. ''பொருந்திய வடிப்பான்'' என்று பெயர் சூட்டப் பெற்ற இது, வடித்தமைக்கப்படுவதற்காகப் பொறியாளர்களிடம் எடுத்துச் செல்லப்பட்டது. ஆனுல் திட்டத்தைப் பொறிகளாகச் செய்யும் பொறியாளர்கள் தற்போதைக்கு இப் பணியைச் செய்வதற்கில்லை என்பது தெரிய வந்தது. ஏனெனில் இதைச் செய்வதற்குவேண்டிய அளவுக்குத் தொழில் நுட்பம் முன்னேறியாகவில்லை. ஆகவே ஆராய்ச்சி-வளர்ச்சித் துறையினர் வகுத்த திட்டங்கள் நடைமுறைக்கு வர முடியாமல் இருந்து வந்தன.

ஆனுல் பிற்பாடு ஏற்பட்ட தொழில்நுட்ப வளர்ச்சியைத் தொடர்ந்து தேவையான உறுப்புகளைத் தயாரிப்பதற்குத் தக்க வழிகள் உருவானதும், ''பொருந்திய வடிப்பான்களில்'' திரும்பவும் கருத்து செலுத்தப்பட்டது. 1950 ஆம் ஆண்டுகளின் ஆரம்பத்தில், முன்னேறிய நாடுகள் யாவற்றிலும் ரேடார் ஆராய்ச்சி ஆய்வகங்கள் பொருந்திய வடிப்பான்

களைப் பயன்படுத்துவதற்கான வழிமுறைகள் குறித்து ஆராய்ந்தன.

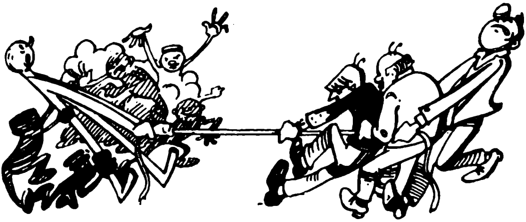
முடிவில் இவ்வடிப்பான்கள் தயாரிக்கப்பட்டு ரேடார்களில் பொருத்தப்பட்டு நடைமுறை உபயோகத்துக்கு வந்தன. உடனே இவை குறித்து சுவையான ஒரு புதிய விவரமும் கண்டுபிடிக்கப்பட்டது. சில சமயங்களில் பொருந்திய வடிப்பானின் வெளியீடு அலையின் அமைப்பு (output| wave form) உள்ளீடு அலையின் அமைப்பினின்றும் (input wave form) வேறுபடுவது தெரிய வந்தது. அதாவது வெளியீடு சைகை அலையின் வீச்சு (amplitude) அதிகமாகி, இடைவெளி நேரம் குறைவது தெரிந்தது. சைகை அலைகள் நீண்ட தளக்கட்டு (base) கொண்டிருக்கையில் இவ்வாறு நிகழ்ந்தது (தளக்கட்டு என்பது, அலையின் இடைவெளி நேரத்தையும் அதிர்வெண்ணையும் பெருக்கி வரும் பெருக்குத்தொகை ஆகும்). தளக்கட்டு அதிகமாக இருந்தால், சைகை அலை குறுகியும், அதனுடைய வீச்சு இரைச்சலின் வீச்சை விட அதிகமாகவும் இருக்கும் என்று கண்டுபிடிக்கப் பட்டது. ஏற்றுக் கொள்ளப்படுகின்ற சைகை அலையின் அமைப்பு முக்கியம் என்றால், மேலே கூறப்பட்டது இடைஞ்சலாகத் தோன்றும்; ஏற்றுக் கொள்ளுகின்ற சைகை அலைதான் முக்கியம் என்றால், மேலே கூறப்பட்டது ஒரு சிறந்த அம்சமாகும். ஏனெனில் சைகை அலையின் வீச்சு, இரைச்சலின் வீச்சை விட அதிகமாக உள்ளது.

அடிக்கடி ''இரைச்சல்'', ''குறுக்கீடு'' என்று சொற்கள் வருவதை நீங்கள் கவனிக்கிறீர்கள். அன்

ருட வாழ்க்கையில் இச்சொற்களுக்கு உரிய அர்த்தம் எல்லாருக்கும் தெரியும். ஆனால் ரேடாரைப் பொறுத்த வரை, இவை என்ன பொருளில் பயன் படுத்தப் படுகின்றன என்பதனைத் துல்லியமாகத் தெரிந்து கொண்டாக வேண்டும்.

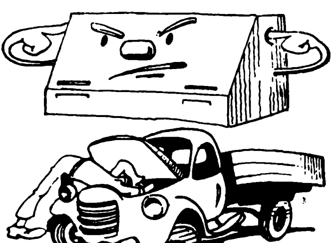
இரைச்சல்—எங்கிருந்து ஏன் எழுகிறது?

இரைச்சல் குறித்து பேசப் போகிறோம். அவரவரும் இச்சொல்லை அவரவருக்கும் ஏற்றபடி அர்த்தப் படுத்துவார். சிலருக்கு இது தமது வீட்டுச் சன்னலுக்குப் பக்கத்தில் சாலையிலே இரவில் ஓடும் டிராம் வண்டியின் கிறீச்சொலியையும் தடதடப்பையும் குறிக்கலாம். வேறு சிலர் இதைப் படிப்பறையில் கூடியிருப்போரிடமிருந்து எழும் குரல்களது தொண தொணப்பாகக் கொள்ளலாம். இவை யாவற்றுக்கும் பொதுவானது, நம் காதில் வந்து ஒலிக்கும் ஒரு வகை சப்தம். ஆனால் ரேடாரால் ஏற்கப்படும் சைகைகள் சப்தம் உண்டாக்குகின்றவை அல்ல. அப்படியா



ால் ரேடாரில் தொல்லை உண்டாக்கும் இரைச்சல் என்பது என்ன?

மோர்ஸ் முறைப்படி வானொலிச் சைகைகளை அனுப்பும் போது, அச்சைகைகளோடு சீழ்க்கை, கூச்சல், கரகரப்பு, கிறீச்சிடல், சொடுக்கு முதலான பல சப்தங்களும் கலந்து தமது காதொலிக் கருவிகளில் ஒலிப்பதை ரேடியோச் செய்தி ஊழியர்கள் இரைச்சல் என்றார்கள். அவர்கள் கூறிய இந்த இரைச்சல் வழக்கமான சப்தத்தையே குறிப்பிட்டது. ரேடாரானது ரேடியோ பொறியியல் அடிப்படையில் உருவாக்கப்பட்டது ஆகையால், ''இரைச்சல்'' என்னும் சொல்லையும் அதனிடமிருந்து பெற்று அப்படியே உபயோகித்து வருகிறது. ரேடாரில் ''இரைச்சல்'' என்பது சைகை அலையோடு கலந்து குறுக்கீடு செய்யும் பிற அலைகளைக் குறிப்பதாகும். இந்தத் தேவையற்ற அலைகள் ரேடார்த் திரையில் கற்றை வரைத்தடயத்தில் (beam trace) ஏராளமான முட்களாய் அங்கும் இங்கும் தெரிகின்றன. இந்த முட்கள் ஒன்றோடொன்று இணைந்து ஒரு வரி போல்



காட்சியளிக்கின்றன. வீச்சு (amplitude) குறைவாய் இருக்கும் போது இந்த வரி புல் போன்ற தோற் றமளிப்பதால் இதனைப் புல் (grass) என்று அழைக் கின்றனர். 153 ஆம் பக்கத்திலுள்ள படத்தைப் பாருங் கள்).

இரைச்சல் அதிக ஆற்றல் உள்ளதாக இருந்து, எதிரடித்து வரும் சைகை அலை ஆற்றல் குறைந்ததாக இருந்தால், விரும்பத் தகாத விளைவுகள் உண்டாகின் றன. இரைச்சலுக்கிடையே நமக்குத் தேவையான சைகையை நாம் காணத் தவறி, இலக்கைக் கண்ட றிய முடியாமற் போய் விடும். இதன் விளைவுகளை வாசகர் தாமே கற்பனை செய்து கொள்ளலாம்.

கடுமையான இரைச்சல் துடிப்பை ரேடார் இயக் குநர் தமக்குரிய சைகையாகத் தவறாய் நினைத்துக் கொண்டு அறிவித்துவிடலாம். இதனால் பொய் அபாய எச்சரிக்கை விடுக்கப்பட்டு விரும்பத்தகாத விளைவு உண்டாகும். ஆனால் அனுபவம் வாய்ந்த இயக்கு நரால் இரைச்சலைக் காட்டிலும் குறைவான வீச் சுள்ள சைகைகளையும் சில நேரம் அடையாளம் கண்டு கூறிவிட முடிகிறது. இரைச்சல் துடிப்புகள் எங்கு வேண்டுமானாலும் தோன்றி மறையக் கூடி யவை. ஆனால் நமக்கு வேண்டிய சைகை ஓரளவு நிலையாகத் தெரியும் ஒன்று. இலக்கு அசையாமல் இருந்தால் கற்றை வரைத்தடயத்தில் சைகையும் அசைவின்றி ஒரே இடத்தில் தெரியும். அனுபவம் வாய்ந்த இயக்குநர் இதனை இனங் கண்டு சொல்லி விடுவார். இயக்குநர் இங்கே வடிப்பானாகச் செயல் படுகின்றார் எனலாம். ஆனால் சங்கடம் என்னவெ

னில், இம்மாதிரி இனங் கண்டு சொல்வதன் நம்பகத் தன்மை பெரிதும் கீழ் நிலையிலேதான் இருக்கும்.

''புல்'' எங்கேயிருந்து வருகிறது? கற்றை வரைத் தடயத்தை அதனுடைய வழக்கமான பாதையில் செல்ல விடாமல், அதனைத் தளக்கோட்டிற்கு (base line) மேலும் கீழுமாக அசையச் செய்வது எது? பூமியைச் சுற்றியுள்ள வளிமண்டலத்தில் மின்காந்த அலைகள் நிறைந்திருக்கின்றன. இடி, மின்னல், துருவ ஒளி, மின் ஜனனி, மோட்டார் காரின் பொறித் தெரிப்பு அமைவு, வானொலி பரப்பிகள் இப்படி மிக பலவும் மின்காந்த அலைகளைத் தோற்றுவிக்கின்றன. இயற்கையாகவும் மனிதனாலும் உண்டாக்கப்படும் இவை ரேடாரில் இரைச்சலுக்கும் குறுக்கீட்டுக்கும் காரணமாகின்றன. எல்லாமாகச் சேர்ந்ததும் இரைச்சல் மின் அழுத்தத்தினை (noise voltage) ரேடார் ஏரியலில் உண்டாக்குகின்றன. சில சமயங்களில் இரைச்சல் மின் அழுத்தம் குறைவாக இருக்கையில் கற்றை வரைத் தடயம் தளக்கோட்டினின்றும் அதிகம் விலகிச் செல்லாமல் இருக்கும். வேறு சில நேரங்களில் மின் அழுத்தம் அதிகமாகி விடும் போது கற்றை வரைத்தடயம் தளக் கோட்டினின்றும் விலகிச் செல்கிறது. இவ்விதம் ரேடார்த் திரையில் ''புல்'' தோன்றிவிடுகிறது.

இன்னொரு வகையான இரைச்சலும் இருக்கிறது. அது வெப்ப இரைச்சல் (thermal noise) அல்லது ஜான்சன் இரைச்சல் எனப்படுவதாகும். வெப்ப இரைச்சல் மின்சுற்றுக் கருவிகளினால் உண்டாக்கப்

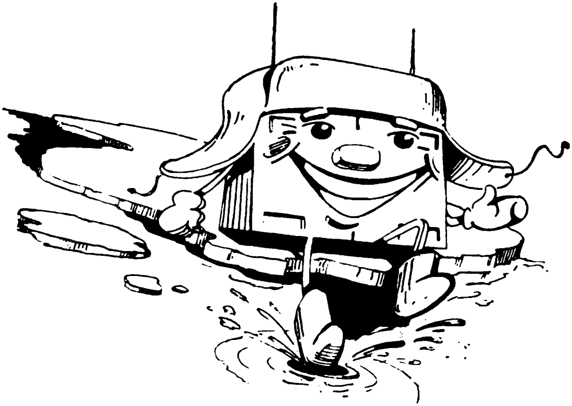
படுவது*. ரேடார் ஏற்பி அமைவின் உள்ளீட்டுக் (input) கட்டங்களில் வெப்ப இரைச்சலால் குறிப் பான அளவுக்குத் தொல்லேகள் உண்டாகின்றன. ஏனெனில் நமக்கு வேண்டிய சைகை அதிக ஆற்றல் இல்லாதது. வெப்ப இரைச்சலின் ஆற்றல் இந்தச் சைகையினுடையதுடன் ஒப்பிடத் தக்கதாய் இருக் கலாம். அடுத்த கட்டங்களில் வேண்டிய சைகையும் வெப்ப இரைச்சலும் ஒரே அளவுக்குப் பெரிதாக்கப் படுகின்றன. ஆகவே வெப்ப இரைச்சலுக்கான ஆதா ரம் எவ்வளவுக்கு எவ்வளவு ஏற்பி அமைவின் உள் ளீட்டுக் கட்டங்களுக்கு அருகாமையில் இருக்கிற தோ, அவ்வளவுக்கு அவ்வளவு தொல்லேயும் அதிக மாகிவிடும். அதே போல் பெரிதாக்கப்படும் கட்டங் கள் அதிகரிக்கையில் அதனுடன்கூட தொல்லேயும் அதிகரித்துச் செல்லும். வெப்ப இரைச்சலேக் குறைக் கப் பல வழிகளும் கையாளப்படுகின்றன. ஏற்பியின் ஆரம்பக் கட்டங்களேக் குளுமை செய்வது ஒரு வழி. வெப்பநிலே குறைக்கப்படுகையில் வெப்ப இரைச்ச லும் குறைகிறது. பல வழிகள் கையாளப்பட்டும்

---

* எலக்ட்ரான்கள் உலோகங்களில் தங்குதடை யின்றி தொடர்ச்சியின்றி பாய்கின்றன. மின் சுற்றுக் கருவியின் வெப்ப நிலே அதிகமாகும் போது தொடர்ச் சியற்ற இந்த அசைவும் அதிகமாகின்றது. மின்னேட் டமானது எலக்ட்ரான்களின் அசைவாகும், இந்த எலக்ட்ரான்களின் தொடர்ச்சியற்ற அசைவு தொடர் ச்சியற்ற சைகையினேத் தோற்றுவிக்கிறது. இந் தத் தொடர்ச்சியற்ற அசைவே வெப்ப இரைச்சல் எனப்படுகிறது.

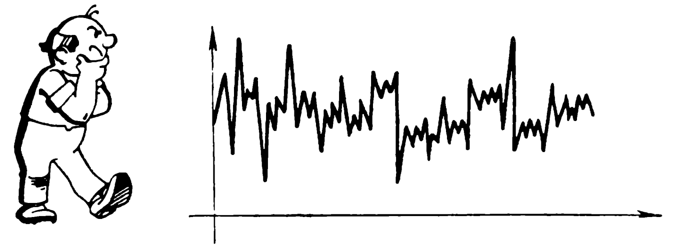
வெப்ப இரைச்சல் அறவே நீக்கப்படுவதில்லை. ரேடார் திரையில் தெரியும் புல்லுக்கு வெப்ப இரைச்சலும் இவ்விதம் எப்போதுமே ஒரு காரணமாய் இருந்து வருகிறது.

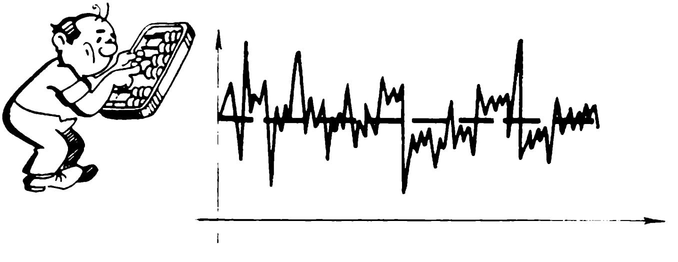
இரைச்சலைப் பற்றி முழுமையாக அறிந்து கொள்ள வேண்டுமானால், மேலும் ஒருவகையான இரைச்சலாகிய, காஸ்மிக் இரைச்சல் (cosmic noise) குறித்தும் தெரிந்து கொள்வது அவசியம். இது பூமியின் வளி மண்டலத்திற்கு அப்பால் இருந்து வருகிறது. இது வலுக் குறைந்து இருப்பதால், சாதாரண ரேடியோ ஏற்பியின் இயக்கத்தினை அதிகம் பாதிப்பது கிடையாது. ஆனால் நுண்ணுணர்வு கொண்ட ரேடார் ஏரியல் காஸ்மிக் இரைச்சலையும் கிரகித்துக் கொள்வதால், தேவையான சைகை இந்த இரைச்சலில் மூழ்கிவிடுவது உண்டு.

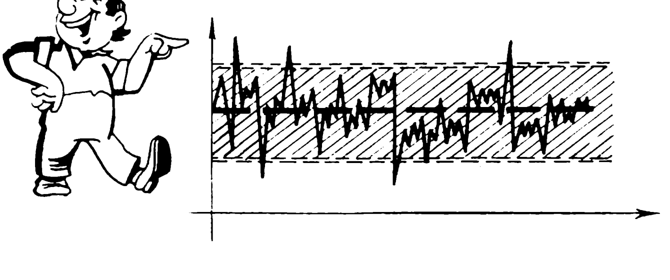


இரைச்சலின் ஆற்றல் ஓயாமல் மாறிக் கொண்டிருக்கிறது. எனவே இரைச்சலைக் கணக்கிடும்போது, தனிப்பட்ட துடிப்புகளின் சராசரி மதிப்பினையும், (நீண்டதொரு நேரத்தில் தனிப்பட்ட துடிப்புகளின் அளவுகளைச் சராசரியாக்கிப் பெறப்படுவது), அதன் மாறுபாட்டையும் (அதாவது ஒவ்வொரு மின்துடிப்பின் வீச்சும் சராசரி மதிப்பினின்றும் விலகிச் செல்லும் அளவு) எடுத்துக் கொள்கிறோம். இவை இரண்டையும் கொண்டு அதிக சக்தி வாய்ந்த இரைச்சல் மின் துடிப்பும், மிகக் குறைந்த சக்தி வாய்ந்த மின் துடிப்பும், நிகழ்வதற்கான நிகழ்தகவினைக் (probability) கண்டுபிடிக்க முடியும்.

இரைச்சலின் நிகழ்வினைப் பதிவு செய்து, துடிப்புகளின் சராசரி மதிப்பினை ஒரு கோட்டால் குறிப்பிடுவோம். மேலும் இரு கோடுகள், ஒன்று சராசரி மதிப்பிற்கு மேலும், இன்னொன்று சராசரி மதிப்பிற்குக் கீழும் இருக்கும்படியாக வரைய வேண்டும்; இவ்விரு கோடுகளில் ஒவ்வொன்றும் சராசரிக் கோட்டிற்கு மாறுபாட்டின் வர்க்க மூலத்தைப் போல் (அதாவது, நிலையான விலகலைப் [standard deviation] போல்) மூன்று மடங்கு தூரத்தில் இருக்க வேண்டும். மின் துடிப்புக்களின் வீச்சுக்கள் எல்லாம் இவ்விரு கோடுகளுக்கும் இடைப்பட்ட பரப்புக்குள் அடங்குவதைக் காண்போம். சராசரியாக மூன்று இரைச்சல் துடிப்புகளுக்கு மேல் இவ்விரு எல்லைக் கோடுகளைத் தாண்டிச் செல்வதில்லை என்பதைக் காண்போம். இவ்விரு கோடுகளுக்கும் இடைப்பட்ட பரப்பை இரைச்சல் பட்டை (noise band) என







லாம். தேவையான சைகை அலை அதிக ஆற்றல் உள்ளதாக இருந்தால், அது இரைச்சல் பட்டையின் மேல் எல்லைக்கு அப்பால் தோன்றும். இதிலிருந்து தேவையான சைகையினை, இரைச்சலினின்றும் வேறுபடுத்தி அறிய முடியும். அப்படிக்கின்றி சைகை அலை ஆற்றல் குறைந்ததாக இருந்தால், அதனைக் கண்டு பிடிக்க முடியாது.

இரைச்சலை அன்னியில், மற்றொரு பகையையும் நமது ரேடார் சைகை சமாளிக்க வேண்டியிருக்கிறது. இந்த இரண்டாவது பகை குறுக்கீடு (interference). இரைச்சலுக்கும் குறுக்கீட்டுக்கும் என்ன வேறுபாடு? இதனை நன்கு அறிந்து கொள்ள ஒப்புமை ஒன்றினைப் பார்ப்போம். நீங்கள் நாடக அரங்கினுள் உட்கார்ந்திருப்பதாகக் கற்பனை செய்து கொள்ளுங்கள்—இன்னும் திரைச் சீலை விலக்கப்படவில்லை. அரங்கினுள் ஓயாத தொணதொணப்பு ஓசை ஒலிக்கிறது. அரங்கில் இருப்போர் ஒருவருக்கு ஒருவர் மெதுவாகப் பேசிக் கொள்வது, இடம் பிடிக்க உள்ளே வருவோரின் காலடி ஓசை, இருக்கையில் இவர்கள் அமரும் போது எழும் தடதடப்பு—இப்படிப் பலவற்றாலும் இந்தத் தொணதொணப்பு உண்டாகிறது. ஆனல் இந்தத் தொணதொணப்பு அருகாமையில் அமர்ந்திருப்பவரோடு நீங்கள் நடத்திக் கொண்டு இருக்கிற உரையாடலைப் பாதிக்கவில்லை.

இப்போது திரைச்சீலை விலக்கப்பட்டு, அறை முழுவதும் அமைதி குடிகொண்டிருப்பதாக வைத்துக் கொள்ளுங்கள். உங்கள் கவனம் முழுவதும் நாடகத்தின் மீதும், நாடக நடிகர்களின் மீதுமே இருக்

கும். அச்சமயத்தில், பக்கத்திலே அமர்ந்திருக்கிற ஒருவர், கதாநாயகனின் அலங்காரத்தைப் பற்றி மெதுவாகக் கருத்தை வழங்க முற்படுகிறார். இப்போது நீங்கள் நாடகத்திலே முழுக் கவனம் செலுத்த முடியவில்லை. ஒரேயொருவர்தான், அதுவும் மெல்லிய குரலில் பேசுகிறார் என்றாலும் அது உங்களை நாடகத்தைக் கவனிக்க முடியாதபடி தடுக்கிறது. நாடகம் ஆரம்பமாகும் முன்பு அரங்கில் எழுந்த தொணதொணப்பு ரேடார் ஏற்பியை வந்தடையும் குருட்டாம் போக்கு (random) இரைச்சல் போன்றது. நாடகம் தொடங்கிய பிறகு, பக்கத்தில் இருந்தவர் பேசிய பேச்சுத்தான் ''குறுக்கீடு'' எனப்படுவது. இன்னொரு எடுத்துக் காட்டு: நீங்கள் ஒருவருடன் சுவையாகப் பேசிக் கொண்டிருக்கும் போது யாராவது இடையிலே புகுந்து அசட்டு நகைச் சுவைத் துணுக்கு ஒன்றைச் சொல்வாராயின் அது தான் ''குறுக்கீடு'' எனப்படுவது.

தொழில்நுட்ப வழக்கில் சொல்வதெனில், ரேடார் ஏற்பியில் விரும்பத்தகாத பாதிப்பை உண்டாக்கும் குருட்டாம் போக்கல்லாத, போதிய அளவு கடுமையான சைகையே குறுக்கீடு. அருகாமையிலுள்ள வேறொரு ரேடார் நிலையத்தைப் போன்ற ஓர் ஆதாரத்திலிருந்து இது எழுவதாய் இருக்கலாம். இதனிலும் தொல்லை உண்டாக்குவது, பல ஆதாரங்களிலிருந்து வரும் குறுக்கீடு.

சில சமயங்களில் சக்தியின் பரப்பீட்டின் (energy distribution) அடிப்படையில் இரைச்சலையும் குறுக்கீட்டையும் பாகுபடுத்துவது அவசியமாகிறது.

இரைச்சலின் மின்சக்தி, அகன்ற அதிர்வெண் நிற மாலை முழுவதும் சரிசமமாகப் பரவியிருந்தால், அந்த இரைச்சல் ''நிறமற்ற இரைச்சல்'' (white noise) எனப்படும். அப்படிக்கின்றி, ஒரு பகுதியில் அதிக சக்தியும், இன்னொரு பகுதியில் குறைந்த சக்தியும் கொண்டதாய் இருந்தால் அது ''நிற இரைச்சல்'' (colour noise) எனப்படும். மேலே கூறப்பட்டுள்ள பெயர்களெல்லாம் ஒளியியலிலிருந்து (light) எடுத் தாளப்பட்டுள்ளன. ஓர் ஒளிக் கதிர் வீச்சு (luminous radiation) கண்ணுக்குத் தெரிய கூடிய நிறமாலை யில் (visible spectrum) உள்ள எல்லா அதிர்வெண் களையும் ஒரே அளவுக்குக் கொண்டிருக்கும் போது, நிறமற்ற ஒளியினைக் காண முடியும். ஓர் அதிர்வெண் அல்லது பல அதிர்வெண்கள் சேர்ந்த ஒரு குழுவின் ஆதிக்கம் அதிகமாக இருக்கும் போது நிற ஒளியைக் காணலாம்.

ரேடியோ பொறியாளர்கள் நிற இரைச்சலைவிட நிறமற்ற இரைச்சலையே விரும்புகின்றனர். ஏனெனில் நிறமற்ற இரைச்சலைக் கட்டுப்படுத்துவது எளிது.

வெப்ப இரைச்சலை (thermal noise) நிறமற்ற இரைச்சல் எனலாம். ரேடியோ அலை வீச்சு உண் டாக்கும் உதிரியான ஆதாரங்களிலிருந்து வரும் இணைப்பு இரைச்சலை (composite noise) நிற இரைச்சல் எனலாம்.

குறுக்கீட்டையுங்கூட, சக்தியின் பரப்பீட்டைக் கொண்டும் அதனுடைய இடைவெளி நேரத்தினைக் கொண்டும் பாகுபாடு செய்யலாம். குறுக்கீடு



தொடர்ச்சியாக நடைபெறும் போது அதனுல் ஓர் அதிர்வெண் பட்டை (frequency band) தோற்றுவிக்கப்படுகின்றது. இவ்வதிர்வெண் பட்டை ரேடாரின் அதிர்வெண் பட்டையினுள் விழும்போது, ஒளியுடன் கூடிய ஒரு கோடு தோற்றுவிக்கப்படுகின்றது. இதனுல் இலக்கினைக் கண்டுபிடிப்பதில் சிரமம் ஏற்படுகிறது.

இரைச்சலில் மற்றும் ஒரு வகையும் உண்டு. அதற்குக் ''கணத்தாக்குவிசை இரைச்சல்'' (impulse noise) என்று பெயர். இத்தாக்குவிசை இரைச்சல், குறைந்த இடைவெளி நேரம் கொண்ட மின்துடிப்பாகும். குறுகிய மின்துடிப்பு அதிர்வெண் பட்டையில் ஒரு பரவலான பகுதியை ஆக்கிரமிக்கிறது. மின்துடிப்பு மேலும் குறுகலாகியதும், இந்தப் பகுதியும்

அதற்கேற்ப அதிகரிக்கிறது. இதனால் கணத்தாக்குவிசை இரைச்சலானது பரவலான வெவ்வேறு அதிர்வெண்களைப் பயன்படுத்தும் ரேடார்களின் இயக்கத்தில் குறுக்கிடக் கூடும். இந்த இரைச்சல் ரேடாரின் ஏரியலை அடையுமாயின், கற்றை வரைத் தடயத்தில் முட்களைத் தோற்றுவிக்கும். இதனை இலக்கிலிருந்து வரும் எதிரடிப்பாக இயக்குநர் தவறாக நினைத்துவிடலாம். கணத்தாக்குவிசை இரைச்சல் மின் துடிப்புக்கள் எண்ணிக்கையில் அதிகமாகவும், மிகுந்த சக்தி கொண்டதாகவும் இருக்கும்போது, சைகை அலையினைக் கண்டு பிடிப்பது மேலும் மேலும் கடினமாகி விடுகிறது.

செயலாற்றிக் கொண்டிருக்கும் ஒரு ரேடார் சில சமயங்களில் அதற்கே உரித்தான குறுக்கீட்டைத் தோற்றுவிக்கும். இதற்கு, ''தரை மீட்சி'' (ground return) என்று பெயர். தரை மீட்சி என்பது, ரேடார் நிலையத்திலிருந்து அருகில் உள்ள உயர்ந்த கட்டிடங்கள், குன்றுகள் இவை போன்ற இன்ன பிறவுமான குறிப்பிட்ட பொருட்களின் மீது பட்டு எதிரடிக்கப்படும் தேவையற்ற, குழப்பம் விளைவிக்கும் அலைகளைக் குறிப்பதாகும். இவ்வலைகள் தேவையான சைகை அலையைக் கண்டு கொள்ள முடியாதபடிக் ''குறுக்கிடுகின்றன.'' ரேடாரின் ஏரியலை அதிக உயரத்துக்கு உயர்த்துவதன் மூலம் இதனைத் தவிர்க்கலாம். அப்படி உயர்த்தினால் சுற்றுப் புற விசும்பில் ஒரு பெரும் பகுதி ரேடாரின் காட்சி புலனிலிருந்து தப்பிவிடும். அமெரிக்க ஐக்கிய நாட்டில் இதற்குத் தீர்வு காண வேறொரு வழியைக் கையாண்டுள்ள

னர். 32 மீட்டர் உயரம், 670 மீட்டர் விட்டம் கொண்ட உலோக வேலி ஒன்றினை ரேடாரைச் சுற்றி அமைத்துள்ளனர். அரையங்குலச் சதுரங்களிலான வலைப் பின்னல்களைக் கொண்ட இந்த உலோக வேலி சுற்றுப்புற மலைகள், கட்டிடங்களின் மீது பட்டு எதிர டிக்கப்படும் அலைகளை, சைகை அலைகளோடு குறுக் கீடு செய்யா வண்ணம் தடுத்து நிறுத்துகின்றது.

இன்னும் எத்தனையோ வகையான குறுக்கீடுகள் உள்ளன. அவைகளில் முக்கியமானது, போர்க் காலத்தில் பகைவர்கள் உண்டாக்கும் குறுக்கீடு ஆகும். ''ஜாமிங்'' (jamming) எனப்படும் இதனைப் பற்றிப் பின்னால் கவனிப்போம்.

ரேடியோ முதன் முதலில் தோன்றிய காலத்தில் ஏற்பி வேண்டிய சைகை அலையினை ஏற்கச் செல்வதிலேதான் கவனம் செலுத்தப்பட்டது. அதில் இரைச்சல் இருப்பதைப் பற்றியும், இல்லாததைப் பற்றியும் அன்று யாரும் அதிகமாய்க் கவலைப்பட வில்லை. இரைச்சல் இல்லாதிருந்தால் மகிழ்ச்சி அடைந்தனர்; இரைச்சல் இருந்தால் முகஞ் சுளித்துக் கொண்டனர். இரைச்சலுக்கும் குறுக்கீட்டுக்கும் எதிர்ப்புக் காட்டப்படாத காலமாக அதைக் குறிப்பிடலாம் பிற்பாடுதான் இரைச்சலை ஒழிப்பதெப்படி என்று சிந்திக்க ஆரம்பித்தனர். இதன் விளைவாக, தேர்ந் தெடுப்பு வடிப்பானும் (selective filter), அதைத் தொடர்ந்து, பொருந்திய வடிப்பானும் உருவாக்கப் பட்டது. இதன் மூலம் சைகை அலையினின்றும் வேறுபட்ட அதிர்வெண்கள் கொண்ட இரைச்சல் களை ஒரு கணிசமான அளவுக்கு நீக்க முடிந்தது. இருப்

பினும், சில நேரங்களில் இவ்வடிப்பானும் தன்னுள் அதிகமான இரைச்சல் அலைகளைச் செல்ல விட்டு விடும்.

பிறகு ''சைகைக் குவிப்பு'' (signal accumulation) என்னும் கருத்து எழுந்தது. சைகைக் குவிப்பு என்பது என்னவென்பதைச் சுருக்கமாகப் பரிசீலிக்க லாம். இரு சைகை அலைகள் ஒன்றுபின் ஒன்று வருவ தாகவும், இரண்டாவது அலை வந்து சேரும் வரை முதலாவது சைகை அலை தாமதப்படுத்தப்படுவதா கவும், அதற்குப் பின்னல் இரண்டும் ஒன்று சேர்க் கப் படுவதாகவும் வைத்துக் கொள்வோம். இரு சைகைகளும் முழுதொத்தவை என்பதால், அவற் றின் கூட்டுத் தொகை ஒவ்வொரு சைகையையும் போல் இரு மடங்காய் இருக்கும். இரைச்சல் மின்து டிப்புக்கள் வெவ்வேறு நேரத்தில் தோன்றி இசை வின்றி வந்து சேரலாம். முதல் சைகை அலையோடு வருகிற இரைச்சல் மின்துடிப்பு நேர் மின் ஆற்றல் (positive) கொண்டதாயும், இரண்டாவது சைகை யோடு வருகிற இரைச்சல் மின்துடிப்பு எதிர் மின் ஆற்றல் (negative) கொண்டதாயும் இருக்கலாம். சைகை அலைகள் ஒன்றுபடுத்தப்படும் போது (அல்லது குவிக்கப்படும்போது) இவ்விரைச்சல் மின்துடிப்புக் கள் ஒன்றையொன்று அழித்துக் கொள்கின்றன. இத ஞல் இரைச்சல் குறைந்து விடுகிறது, சைகைச் சிதை வும் குறைந்து விடுகிறது. மேலும் மேலும் சைகை அலைகளைக் குவித்துக் கொண்டு செல்லும் போது மேலும் மேலும் இரைச்சல் குலைவுற்று மொத்த சைகை அளவு இரைச்சலை விட அதிகமாகிச் செல்

லும். ஆனல் இம்முறையினை எல்லா இடங்களிலும் பயன்படுத்த முடியாது. எனவே தற்காலிகமாக ஒரே யொரு சைகை அலையினை மட்டும் எடுத்துக் கொள் வோம். நமது விவாதத்தின் மைய விவகாரத்துக்குத் திரும்பி வருகிறோம். இரைச்சலைப் பற்றி ஓரளவு தெரிந்து கொண்டுள்ள நாம், இந்த மைய விவகா ரத்துக்கு ரேடார் எப்படித் தீர்வு காண்கிறது என் பதைக் கவனிப்போம்.

ரேடார் அதனை எப்படிச் செய்கிறது (2)

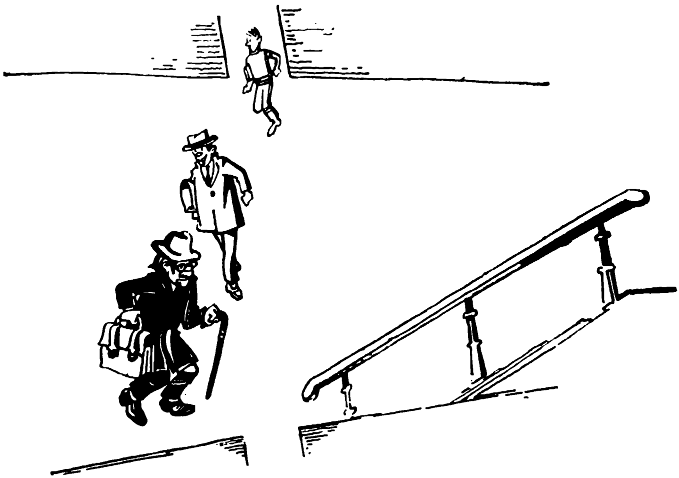
சற்று முன்பு நாம் பார்த்தபடி சைகையின் வீச்சு உயர்வாக இருந்தால் அதைக் குருட்டாம் போக்கு இரைச்சல் துடிப்புகளிலிருந்து வேறுபடுத்துவது சுலபமாகிறது, இலக்கின் எதிரடிப்பை எளிதில் இனம் கண்டு நம்பகமான முறையில் இலக்கினைக் கண்டறிய முடிகிறது. எனவே சைகை சற்று உருக் குலைவதாயினுங்கூடச் சைகையின் வீச்சை அதிகமாக் குவதால் நமக்கு ஆதாயம் கிடைக்கிறது. ஏற்கென வே நாம் கண்டது போல, நீண்ட-தளக்கட்டு சைகைகளையும் பொருந்திய வடிப்பான்களையும் கொண்டு இதைச் செய்ய முடியும்.

முதற்கண், தகுந்த சைகையையொன்றை நாம் தேர்ந்தெடுத்துக் கொள்ள வேண்டும். உதாரண மாக நாம் தேர்ந்தெடுத்துக் கொண்ட ரேடார்கள்

வழக்கமாய் மின்துடிப்புச் சைகைகளை உபயோகித்து வந்துள்ளன. இந்தச் சைகைகள் சைன் அலைகளின் (sinusoidal waves) பகுதியாகும். இத்தகைய சைகைகளில் அகலப்பட்டையானது துடிப்பின் நேரத்துடன் கண்டிப்பான முறையில் தொடர்புடையதாகும், இவை இரண்டின் பெருக்குத் தொகையானது மாறிலியாக இருக்கும். சாதாரணமாக இரண்டுக்கு மேலாக அமையாது. ஆனால் மின்துடிப்புச் சைகைகளில் நேரம் அதிகமாகும் போது அதன் அகலப்பட்டையின் அகலம் குறைகிறது, அகலப்பட்டையின் அகலம் அதிகமாகும் போது துடிப்புநேரம் குறைகிறது. வாலைக் காப்பாற்றினால் மூக்குக்கு ஆபத்து, மூக்கைக் காப்பாற்றினால் வாலுக்கு ஆபத்து என்பதாய் இருக்கிறது. சைகையின் தளம் மாறாமலும் மதிப்பில் குறைவாகவும் இருப்பதால், இம்மாதிரியான சைகை நமக்கு ஏற்றதல்ல. ஏன் இப்படி? நாம் முன்பே அறிந்தபடி சைகையின் தளக்கட்டு நீளமாக இருக்குமானால் அதனைச் சுருக்கலாம், அதாவது ஏற்பியில் சைகையை அழுத்திக் குறுக்கலாம். சைகைச் சுருக்கமானது (compressed) நமக்குத் தேவையான சைகை வீச்சினை உண்டாக்குகிறது, அதோடு சைகை வந்து சேரும் நேரத்தை மிகத் துல்லியமாக நிர்ணயிக்கவும் முடிகிறது.

வேறொரு முறையில் இதை அணுகிப் பார்ப்போம். நீளமான சைகையை நாம் பயன்படுத்துவதாகக் கொள்வோம். சைகை பரப்பப்படும் போது, அதன் அதிர்வெண்ணில் விரவுதலை (sweep) ஏற்படுத்துவதாகக் கொள்வோம். அதிர்வெண் நிறமாலை முழுவ

தையும் இந்த விரவு அதிர்வெண் சைகை ஆக்கிரமித்துக் கொள்ளும், அதாவது அகன்ற அகலப்பட்டை கொண்டாய் இருக்கும். சைன் அலையின் ஒரு பகுதியாக, தொடக்கச் சைகை (elementary signal) என்றழைக்கப்படும் பகுதியாக இருக்கும் ஒன்றுக்குப் பதிலாக இப்பொழுது நாம் மேலும் சிக்கலான சைகை ஒன்றைப் பெறுகிறோம். சிறு தளக்கட்டுச் சைகைகள் என்னும் நச்சுச் சூழலை இந்தச் சிக்கல் உடைக்கிறது; நீளமான தளக்கட்டுச் சைகையை நமக்குக் கிடைக்கச் செய்கிறது. அலை பரப்பப்படுகையில் சைகை அதிர்வெண் அதிகமாய் விரவப்படுவதற்கு ஏற்பச் சைகை அகலப்பட்டையின் அகலமும் அதிகரிக்கிறது. மின்துடிப்பு நேரத்தைப் போதிய அளவுக்கு அதிகமாக்கி, 100 அளவிலும் 1000 அளவிலும் அதற்கும் அதிகமான அளவிலும் தளக்கட்டு கொண்ட சைகையை நாம் பெறலாம். ரேடார்த் தத்துவத் துறையினர் இவற்றைச் ''சிக்கலான'' (complex) சைகைகள் என்று அழைக்கின்றனர். தொடக்கச் சைகைகளைப் போல (elementary signals) சைகைகளின் உள் அமைப்பு எளிதாக இல்லாமல் சிக்கலாக இருப்பதால் இவ்வாறு அழைக்கின்றனர். உற்பத்தியாளர்களுக்கும் இவை சிக்கலானவையே. இந்தச் சைகைகளைப் பயன்படுத்தும் சைகை வடிவமைப்புச் சுற்றுகளும் பொருந்திய வடிப்பான்களும் சிக்கல் மிக்கனவாகும். இன்றைய ரேடார் சாதனங்களில் இந்தப் பொருந்திய வடிப்பான் மிகவும் முக்கியமானதாகவும், பெருஞ் செலவுக்குரியதாகவும் இருப்பதில் வியப்பில்லை. இதன் செயல்தான்

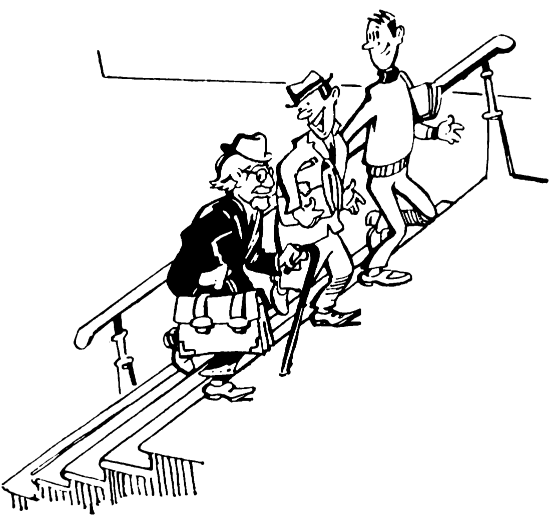


ரேடார் பொறியமைவு அனைத்தின் மதிப்பையும் நிர்ணயிக்கிறது.

போதிய அளவுக்குப் பெரிதான தளக்கட்டு கொண்ட நீளமான சைகையை உருவாக்கி ஒரு இலக்கை நோக்கிச் செலுத்துகிறோம் என்பதாகக் கொள்வோம். இலக்கிலிருந்து எதிரடிக்கப்பட்டு ஏற்பி ஏரியலை அது வந்தடைகிறது. பொருந்திய வடிப்பானுக்கு அது அனுப்பப்படுகிறது. அங்கே இந்தச் சைகை எவ்வாறு அழுத்திச் சுருக்கப்படுகி றது என்று பார்ப்போம்.

சைகைச் சுருக்கம் என்னும் கருத்து எளிமை யானதே. எனினும் ஓர் ஒப்புமையைச் சொல்லி இதைத் தெளிவுபடுத்துவோம். கல்லூரியில் நீண்ட

மாடிப்படி இருப்பதாக கற்பனை செய்து கொள்ளுங்கள். மூன்று பேர் அதை நோக்கிச் செல்கிறார்கள். மாடிப்படியை முதலில் அடைகிறவர் வயதான ஒரு பேராசிரியர். அவருக்கு மூச்சு வாங்குகிறது, இருதயமும் அவ்வளவு நல்ல நிலையில் இல்லை. ஆகவே அவரால் வேகமாக ஓடிச் சென்று படியேற முடியாது, மெதுவாகவே ஏறிச் செல்வார். ஒருசில நிமிடங்களுக்குப் பிறகு துணைப் பேராசிரியர் ஒருவர் படிக்கட்டை வந்தடைகிறார், அவர் இளமைப் பருவத்தின் கடைசிக் கட்டத்தில் இருப்பவர், வலுவானவர். கல்லூரியில் பெயரும் புகழும் பெற்றிருப்பவர் ஆதலால், படிக்கட்டில் அவர் விரைந்து ஓடவில்லை, ஆனால்

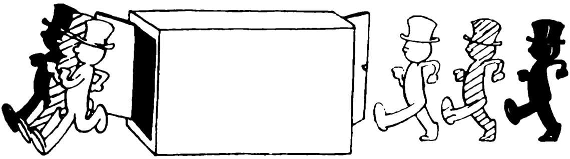


பேராசிரியரைக் காட்டிலும் வேகமாகவே ஏறிச் செல்கிருர். சில நிமிடங்களுக்கு எல்லாம் மாணவர் ஒருவர் இந்தப் படிக்கட்டை வந்தடைந்து, ஒவ்வொரு தரமும் இரண்டு மூன்று படிகளைத் தாண்டி அடி வைத்து அதிவேகமாய் மேலே ஏறுகிருர். படிக்கட்டு போதிய நீளமுடையதாய் இருக்குமாஞல், அந்தத் துணைப் பேராசிரியர் பேரசிரியரை எட்டிப் பிடிப்பார், ஆஞல் மாணவர் இவர்கள் இருவரையும் தாண்டி முன்னே சென்றுவிடுவார். ஆயினும் புத்தக ஆசிரியருக்கு இந்தக் கதையைத் தமக்கு வசதியான முறையில் அமைத்துக் கொள்ள உரிமை இருப்பதால், இம்மூவரும் ஒரே படியை வந்தடைந்ததும் யாரையும் மேற்கொண்டு போக விடாமல், படிக்கட்டை அந்தப் படியுடன் முடிவுறும்படி அவர் வெட்டிக் குறுக்கிவிடுகிருர். இனி இதுகாறும் நடைபெற்றதைத் தொகுத்துரைப்போம். படிக்கட்டின் அடிப்பகுதியில் மாணவர் 400 முதல் 500 மீட்டர் வரைப் பேராசிரியருக்குப் பின்ஞல் இருந்தார். கடைசிப் படியில் மூவரும் இப்பொழுது ஒன்று சேர்ந்து நிற்கிருர்கள். மூவரும் வெவ்வேறு வேகங்களில் ஏறியதால்தான், பேராசிரியரும் துணைப் பேராசிரியரும் மாணவருமான இந்த வரிசை குறுகிச் சிறுத்து விட்டது.

இனி விரவு-அதிர்வெண் சைகைக்குத் திரும்புவோம். அந்தச் சைகையை மன-தளவில் மூன்று மாதிரிகளாகப் பிரிக்கிரேம். அவை மூன்றும் தனித்தனியே அவைகளுக்குரிய அதிர்வெண் கொண்டிருப்பதாகக் கொள்வோம். இனி வேறுபட்ட அதிர்வெண் கொண்ட சைகைகள், வேறுபட்ட திசைவேகங்களில்

பரப்பப்படுவதற்கு உரிய ஒரு கருவியை நாம் கண்டு பிடிக்க வேண்டும். ரேடியோ பொறியியல் துறையில் இத்தகைய கருவிகளுக்குப் பிரிக்கும் தாமத மின்சுற்றுகள் (dispersion delay lines) என்று பெயர். சாதாரணக் கடத்தி அல்லது வெற்றிடத்தின் வழியே செல்வதைக் காட்டிலும் மிகவும் குறைந்த வேகத்தில் இவற்றில் சைகைகள் செல்வதால் இவற்றுக்கு இந்தப் பெயர். வெளிப்பார்வைக்குச் சைகைகள் முன்பே கணக்கிடப் பட்ட கால அளவிற்குத் தாமதித்துச் செல்வதாகத் தெரியும். சைகைகளைக் குறிப்பிடும் போது பிரிகை என்ற சொல் வரக் காரணம் என்ன? ஒரு அதிர்வெண்ணில் உள்ள சைகையை இவை, மற்றொரு அதிர்வெண் கொண்ட சைகையை விட மெதுவாகவோ, வேகமாகவோ செல்ல வைப்பதால், இவற்றுக்குப் ''பிரிக்கும் தாமத மின்சுற்றுகள்'' என்று பெயரிடப்பட்டது. பிரிக்கும் தாமத மின்சுற்றுக்குரிய இந்த இயல்பு ரேடாரில் பயன்படுத்தப்படுகிறது.

இந்தப் பிரிக்கும் தாமத மின்சுற்றின் பாராமீட்டர்களை (parameters) தேர்ந்தெடுக்க வேண்டும். அதிர்வெண்ணில் மாறுபடும் சைகை மாதிரிகளை உள்ளீட்டில் (input) செலுத்துகையில், வெளியீட் டில் அவை ஏககாலத்தில் வரும்படியாகப் பாராமீட்டர்களைத் தேர்ந்தெடுக்க வேண்டும். தாமதிக்கும் மின் சுற்றில் குறைந்த திசைவேகத்துடன் செலுத்தப்படும் சைகை மாதிரி முதலிலும், உயர் திசைவேகத்தில் செலுத்தப்படும் சைகை மாதிரி இறுதியிலும் வருமாறு செய்ய வேண்டும். பிறகு முதல் மாதிரி தாமத



மின்சுற்றில் முதலில் நுழையும், ஆனால் ஏனையவற்றைவிட மெதுவாக மின்சுற்றில் ஓடும். இரண்டாவது மாதிரியானது முதல் மாதிரியின் கால அளவிற்குச் சமமான நேரம் கழித்து மின்சுற்றில் நுழையும், ஆனால் முன்னதைக் காட்டிலும் வேகமாய் மின்சுற்றில் ஓடும். முதலிரு மாதிரிகளின் கால அளவுகளது கூட்டுத் தொகைக்குச் சமமான நேரம் கழித்து மூன்றுவது மாதிரி நுழைகிறது, ஆனால் இதன் திசை வேகம் ஏனையவற்றின் திசை வேகங்களை விட அதிகம். தாமத மின்சுற்றை நாம் தகுந்த முறையில் அமைத்திருப்போமானால், வெளியீட்டில் (output) இந்த மூன்று மாதிரிகளும் ஒன்றேடொன்று கலந்து வெளிப்படும். அதாவது இவை ஒன்று சேர்ந்து, முன்பிருந்த சைகையினை விட குறைந்து, நீளத்தில் மூன்றில் ஒரு பகுதியாகச் சுருங்கிப் போய் இருக்கும். நாம் எடுத்துக் கொண்ட சைகை அடிப்படையின் மாதிரிகள் மூன்று என்ற எண்ணிக்கையில் அமைந்துள்ளது. ஆகவே சைகையின் நீளத்தில் மூன்றில் ஒரு பங்கு சுருக்கம் காணப்படும். பொதுவில் சைகைகளின் சுருக்கத்தை அவற்றின் தளக்கட்டைக் கொண்டு கணக்கிட்டு விடலாம். 100 அளவுள்ள தளக்கட்டு கொண்ட ஒரு சைகை அதன் வெளியீட்டில் அதன்

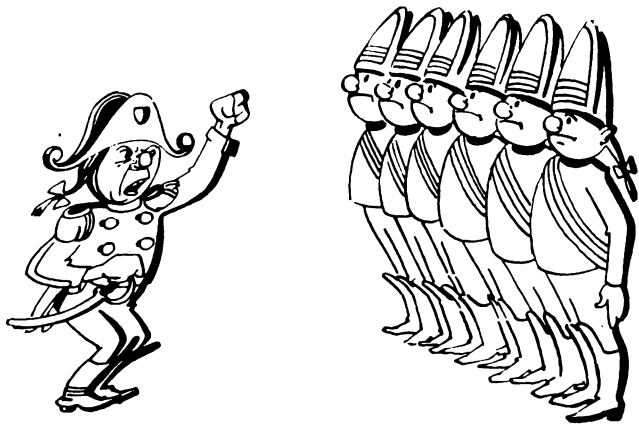
ஆரம்ப நீளத்தில் நூற்றில் ஒரு பங்குக்குச் சுருக்க மாக்கப்படும். 100,000 அளவுள்ள தளக்கட்டு கொண்ட சைகை வெளியீட்டில் அதன் ஆரம்ப நீளத்தில் நூறு ஆயிரத்தில் ஒன்ருகக் சுருங்கிவிடும். மிகச் சிறிதாகி விடுகிறது அல்லவா?

ஆக சைகைகளைச் சுருக்கி விட்டோம். ஆனுல் சைகையின் சக்தியானது, தாமத மின்சுற்றில் இழக் கப்படுவதை விட்டு விடுவோமானுல், மாற்றமின்றி அதே அளவில்தான் இருக்கிறது. இதன் விளைவாக சைகையினுடைய வீச்சு பெரிதும் அதிகரிக்கும். அக லமான, ஆனுல் ஆழமற்ற ஒரு தட்டிலிருந்து உயர் வான, ஆனுல் குறுகலான கண்ணுடி டம்ளரில் தண் ணீரை ஊற்றுங்கள். தட்டில் இருந்ததைக் காட்டி லும் டம்ளரில் நீர் மிகவும் உயர்ந்து நிற்கக் காண் பீர்கள். சுருக்கப்படுகையில் சைகைகளிலும் இதே போன்ற மாற்றம் ஏற்படுகிறது. இரைச்சல் நிலைக்கு மேலாக இந்த சைகை எடுப்பாய்த் தெரியும். ஆகவே அதை அடையாளம் கண்டுகொள்வதில் நம்பக நிலை பல மடங்கு கூடுதலாகி விடுகிறது.

விரவு-அதிர்வெண் சைகைப் பற்றி இதுவரை நாம் விவாதித்தோம். வல்லுநர்கள் இந்தச் சைகை யை அதிர்வெண் பண்பேற்ற (frequency-modulated) சைகை என்றழைக்கிருர்கள். AM சைகையைப் போலவே அதன் பெயரும் சுருக்கப்பட்டு "FM சைகை'' எனப்படுகிறது. பொருந்திய வடிப்பானில் சுருக்கப்படும் சைகை வகைகளில் இந்த FM சைகை யைத் தவிர வேறு சிலவும் உள்ளன. சில சிறப்பு அமைப்புகளில் சில நேரங்களில் இந்த FM சைகை

யும் பல்வேறு குறைபாடுகள் காரணமாகப் பயன்படுத்தத் தகுதியற்றதாகிவிடுகிறது. இத்தகைய சிக்கலான நிலைமைகளை விட்டு விட்டு, மற்ருெரு வகைச் சைகையைப் பரிசோதிப்போம். அலையைப் பரப்புகையில் சைகையின் அதிர்வெண்ணை மாற்றுவதற்குப் பதிலாக, கட்ட நிலையை (phase) மட்டும் மாற்றலாம்—நம் விருப்பம் போல் அல்ல, முன்கூட்டியே திட்டமிட்டு முடிவு செய்த முறையில் இந்த மாற்றம் செய்யப்பட வேண்டும்.

படத்தைப் பாருங்கள், புதிதாகப் படையில் சேர்ந்துள்ள படையாட்களுக்குக் கண்டிப்பான அதிகாரி ஒருவர் பயிற்சி அளிக்கிருர். உச்சிப் படத்தில் படையாட்கள் எல்லோரது முகங்களும் அதிகாரியை நோக்குகின்றன. இந்நிலையில் படையாட்கள் இந்த அதிகாரிக்குக் ''கட்டநிலையில்'' (in phase) இருப்பதாகக் கொள்வோம். ஏதோ ஒரு சக்தி இந்தப் படையாட்கள் எல்லோரையும் 180° திரும்பச் செய்வதாகக் கொள்வோம். இந்தப் புதிய நிலையில் இவர்கள் இந்த அதிகாரிக்கு ''எதிர்கட்டநிலையில்'' (anti phase) இருப்பதாகக் சொல்லலாம். மன்னர்கள் சிலருக்கு முன்ஞல் ''எதிர்கட்டநிலை'' ஏற்கும் அரசவையினருக்கு மரண தண்டனையே வெகுமதியாகக் கிடைத்ததாம்—சரித்திர ஆசிரியர்கள் இதை நமக்குச் சொல்கிருர்கள். இங்கு நாம் அந்த அளவுக்குச் செல்ல வேண்டாம். இங்கே நமது அதிகாரி ''நேர் எதிரே திரும்பு'' என்று கட்டளையிடுகிருர். பதப்பட்ட படையாட்களுக்கு இது ஒரு பெரிய காரியமல்ல. ஆஞல் இங்கே இருக்கும் படையாட்கள்



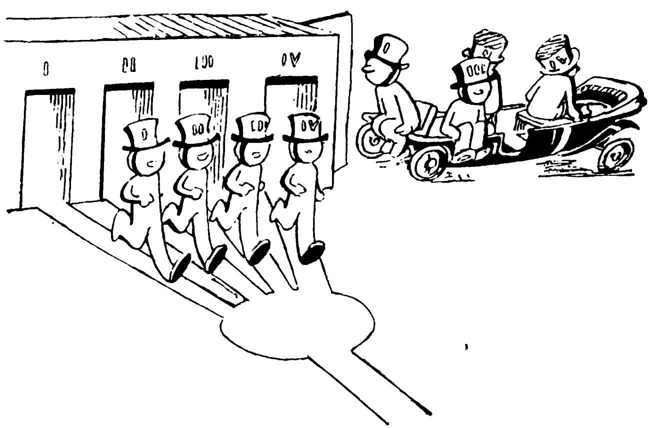


இப்போதுதான் பயிற்சி பெறுகிருர்கள். ஆகவே இவர்கள் திரும்பியதும் அணி வரிசையின் ஒழுங்கு கொஞ்சம் குலேயவே செய்கிறது. உடனே அதிகாரியின் வாயிலிருந்து வெளிவரக் கூடிய சொற்களேக் குறிப்பிடுவது முறையாகாது—விட்டு விடுவோம். இங்கு நமக்கு வேண்டியது ஒழுங்கு குலேந்த அணி வரிசை மட்டுமேதான்.

இப்பொழுது ஒவ்வொரு படையாளுக்கும் பதில் ஒரு சைன் அலே இருப்பதாக வைத்துக் கொள்ளுங்கள். குறுகலான ஒரே ஒரு துடிப்பை மட்டும் (ஒரு படையாள்) கவனித்தோமாளுல், அதன் நிறமாலே அகலமானது, ஆளுல் அதன் தளக்கட்டு சிறியது. எல்லாத் துடிப்புகளும் கட்ட நிலேயில் இருக்கும் பட்சத்தில் (மேலே உள்ள படத்தில் இருப்பது போன்ற ஒழுங்கான அணி வரிசை) நாம் நெடு நேரத் தொடர் சைன் அலேயைப் பெறலாம். இது குறுகலான அகலப்பட்டையும் குறுகிய தளக்கட்டும்தான் கொண்டிருக்கும். இதற்குப் பதில், மொத்த சைகையின் துடிப்புக்கள் குருட்டாம் போக்கில் அமைந்திருக்குமாயின் (அடிப் படத்திலுள்ள படையாட்களேப் போல), அதாவது துடிப்புகள் ஒன்றுக்கொன்று கட்ட நிலேயில் இல்லாதிருக்குமாயின், சைகையின் நிறமாலே அகலமானதாக இருக்கும், சைகை நேரம் சற்று அதிகமாக இருக்கும் (எல்லாத் துடிப்புக்களின் நேரத்தின் கூட்டுத் தொகைக்குச் சமமாக இருக்கும்). இதன் காரணமாக, சைகை அடித்தளம் வெகுவாய் அதிகரிக்கிறது. நூறு தனித் தனித் துடிப்புகளேக் கொண்டதாக அமையும் ஒரு சைகைக்குத் தளக்

கட்டானது தனிப்பட்ட துடிப்பைப் போல் நூறு மடங்கு பெரிதாய் இருக்கும்.

துடிப்புகளது கட்டநிலை விநியோகத்தில் சமச்சீராக்கம் (symmetry) இல்லாதிருத்தல், சைகையைத் தக்கபடி சுருக்கம் பெறச் செய்வதற்கு அவசியமாகும். அத்தகைய சைகையைச் சுருக்குவதற்கு, முதலில் வருகின்ற சைகை மாதிரிகளைத் தாமதப்படுத்த வேண்டும், எல்லா மாதிரிகளின் கட்ட நிலைகளைச் சரி செய்து யாவும் ஒரே கட்ட நிலையில் இருக்கும்படி செய்து, அந்த மாதிரிகள் அனைத்தையும் ஒன்றாக இணைத்துச் சேர்க்க வேண்டும். முதலில் பார்த்தபடி முதலில் வருகின்ற மாதிரிகளைத் தாமத மின்சுற்றினால் தாமதப்படுத்தலாம், கட்டநிலை மாற்றிகள் (phase-shifters) மூலம் கட்ட நிலையைச் சரி செய்யலாம். உள்-கட்ட நிலை (in-phase) மாதிரி



களை ஒரு சேர்ப்பான் (summator) மூலம் இணைத் துச் சேர்க்கலாம். FM சைகைகளுக்குத் தாமத மின் சுற்றானது ஒரு குறிப்பிட்ட உள்ளீட்டையும் வெளியீட்டையும் மட்டுமே கொண்டிருக்கும். கட்ட நிலைப் பண்பேற்ற (phase-modulated (PM)) சைகை களுக்குத் தாமத மின்சுற்றானது பலவேறு வெளியீடு களைக் கொண்டிருக்கும். இத்தகைய மின்சுற்றை உருவாக்குவது எளிது, ஏனெனில் அது பிரிக்கும் வகையைச் சேர்ந்ததல்ல. அதோடு தாமத மின் சுற்று மற்றும் சைகை அதிர்வெண் ஆகியவற்றிற்கு இடையே, FM சைகையைப் போல், சரியான முழுப் பொருத்தம் இருக்க வேண்டியதில்லை. PM சைகைக் குரிய தாமத மின்சுற்று பிரிக்கும் வகையைச் சார்ந் தது அல்ல என்பதாலும், எல்லாச் சைகை மாதிரி களும் ஒரே அதிர்வெண் கொண்டிருக்கும் என்பதா லும், பல்வேறு சைகை மாதிரிகளும் வரிசையில் ஒரே திசைவேகத்துடன் பரப்பப்படும் என்பது தெளிவாகி றது.

PM சைகைகளுக்குரிய தாமத மின்சுற்று, சைகை முழுமைக்கும் தன்னுள் இடம் தரும்படி போதுமான நீளமுடையதாய் இருக்க வேண்டும், அதோடு ஒவ் வொரு சைகை மாதிரிக்கும் தனியே ஒரு வெளியீட் டைப் பெற்றிருக்க வேண்டும். முதலில் வருகின்ற சைகை மாதிரியானது தாமத மின்சுற்றின் முழு நீளத்திற்கும் ஓடுகிறது. சைகையின் நடுப் பகுதியி லிருந்து எடுக்கப்பட்ட சைகை மாதிரி தாமத மின் சுற்றின் பாதி அளவுக்கு மட்டுமே செல்ல வேண்டி யிருக்கிறது. கடைசியாக வரும் சைகை மாதிரி தாம

திக்கப்படுவதில்லை. ஒவ்வொரு சைகை மாதிரியும் அதற்குரிய வெளியீட்டிலிருந்து வெளிவரும். சைகை மாதிரிகள் யாவும் தாமத மின்சுற்றிலிருந்து ஏககாலத்தில் வெளிப்பட்டுச் சேர்ப்பானுள் நுழைகின்றன. குறிப்பிட்ட சைகை மாதிரியின் கட்டநிலை (0° என்பதாகக் கொள்வோம்) நமக்குப் பொருத்தமாக இருந்தால், அதனுடைய வெளியீட்டில் கட்டநிலை-மாற்றியை அமைக்க வேண்டியதில்லை. எதிர்கட்டநிலையில் சைகை மாதிரி அமைந்திருந்தால் மட்டுமே ஒரு கட்டநிலை புரட்டி (phase invertor) சேர்க்கப்பட வேண்டும். இம்மாதிரியான எல்லா ஏற்பாடுகளுடன் சைகை மாதிரிகள் அனைத்தும் ஒரே கட்டநிலையில் அமைந்து ஒரே நேரத்தில் வெளியே வரும். சேர்ப்பானின் வெளியீட்டில் தோன்றுகின்ற சைகையானது சுருக்கப்படுகிறது, அதனுடைய வீச்சு உயர்வாக்கப்படுகிறது. இறுதி விளைவு FM சைகைகளுக்கு ஏற்பட்டது போலவே அமைகிறது.

அனுமதிக்கப் பெறாத வெளியீடுகள் மூலம் சைகை மாதிரிகள் நுழைந்து விடுமாயின், சமச்சீராக்கமின்றி அமைந்த கட்டநிலை மாற்றிகள் இந்தச் சைகைகளுடைய கட்டநிலைகளை மாற்றிவிடும். அதே எண்ணிக்கையில் சேர்ப்பானனது எதிர்கட்டநிலையில் உள்ள மாதிரி சைகைகளை ஏற்றுக் கொள்ளும். எதிர்கட்டநிலையில் உள்ள இரு மாதிரி சைகைகளின் கூட்டுத் தொகை அனேகமாகப் பூஜ்யமாக இருக்கும். ஆதலால் சைகையானது அதன் மொத்த அளவில் ஒதுக்கத் தக்கதாய் மிகச் சொற்பமாகவே இருக்கும். கட்டநிலையில் மாறுபடும் மாதிரி சைகைகள்

குருட்டாம் போக்கு அமைவுடையனவாய் இருப்பது முக்கியம் என்று நாம் வற்புறுத்தியதற்கு இதுவே தான் காரணம். சைகை மாதிரிகள் அனுமதிக்கப் பெற்ற வெளியீடுகள் மூலம் செல்லும் போது மட்டும்தான் வலு மிக்கதாகச் சுருக்கப்பட்ட சைகையை நாம் பெறலாம். பிற வெளியீடுகள் மூலம் செல்லும் சைகைகள் சுருக்கப்பட மாட்டா, இவற்றின் வெளியீட்டுச் சைகை சிறிதாகவே இருக்கும். இம்மாதிரியான தாமத மின்சுற்றைச் சுற்றி ஒரு வடிப்பானை அமைத்திட வேண்டும். எதிர்கட்டநிலை மாதிரி சைகைகள் தக்கபடி வெளியீட்டு சைகையில் தீர்வு காணப்படத் தக்க முறையில் கட்டநிலை மாற்றிகளை ஏற்பாடு செய்வதன் மூலம் வடிப்பானை PM சைகைக்குப் பொருந்துமாறு செய்யலாம்.

சிக்கலான சைகைகளுக்குரிய பொருந்திய வடிப்பான்களை உருவாக்குவது கடினமான வேலையாகும் என்பதை முன்பே நாம் கண்டோம். FM சைகைகளுக்கு மட்டுமின்றி PM சைகைகளுக்கும் இது முழுமையாகப் பொருந்தும். இரு வகைகளிலும் இடர்ப்பாடுகள் வேறுபட்டவையாக இருந்த போதிலும், இந்த இடர்ப்பாடுகளின் அளவில் அதிக வித்தியாசம் இல்லை. FM சைகைகளைப் பொறுத்த மட்டில், நமக்குத் தோன்றும் முக்கியமான இடர்ப்பாடு அதிர்வெண் பற்றியதாகும். அதாவது அதன் தாமத மின் சுற்றின் அதிர்வெண்ணுக்கும் சைகை அதிர்வெண்ணுக்கும் இடையே தகுந்த பொருத்தத்தைப் பெறுவதிலுள்ள சிரமம்தான். வெப்பம் அல்லது ஈரப்பசை, நடுக்கம், மற்றும் மின்சுற்றுப் பகுதிகளின் பண்புகளில் ஏற்ப

டும் தற்செயலான மாற்றங்கள் ஆகிய பல்வேறு நிலைகளில் இந்தப் பொருத்தத்தைச் சீராக நிலை நிறுத்துவதும் சிரமமாகி விடுகிறது. PM சைகைகளைப் பொறுத்த மட்டில் அதன் தாமத மின்சுற்ருனது துல் லியமாகத் தக்க இடங்களில் அமைந்த வெளியீடுக ளைக் கொண்டதாகவும், கட்டநிலை மாற்றிகளை உப யோகிக்க வேண்டியதாகவும் இருக்கிறது. எவ்வகை யைப் பயன்படுத்துவதனுலும், தீர்வு காண வேண் டியிருக்கும் சிக்கல்கள் கடினமாகவே இருக் கின்றன.

ரேடார் ஏற்பிகளின் பொருந்திய வடிப்பான்க ளில் நீளமான சைகை எப்படி சுருக்கப்படுகிறது என்பதைப் பார்த்தோம். சைகைச் சுருக்கமானது ஒரே கல்லில் இரு மாங்காய்களை வீழ்த்துவது போன் றதாகும். இரைச்சலின் நடுவே இந்த சுருக்கப்பட்ட சைகை எடுப்பாகத் தெரிவது முதலாவது பயன். இரண்டாவதாக நீளத்தில் அது வெகுவாகக் குறைந்து விடுகிறது; ஏற்கெனவே நாம் தெரிந்து கொண்டபடி, இதனுல் ரேடார்க் கருவிகளின் பிரித்து ணர்ப் பண்பு மேம்படுகிறது.

ரேடார் கருவியின் திறனைச் சைகைத் தளக்கட் டுக்கு நேர் விகிதத்தில் மேம்படச் செய்யலாமெனக் கொள்கையளவில் கூறலாம். ஆனுல் சங்கடம் என் னவெனில், சைகைத் தளக்கட்டின் நீளம் அதிகமா கும்போது சைகையின் கட்டமைப்பு மேலும் மேலும் சிக்கல் வாய்ந்தது ஆகிறது. 1000 அளவுள்ள தளக் கட்டுடன் ஒரு PM சைகையானது 1000 தனித்தனி மாதிரி சைகைகளைக் கொண்டிருக்கும், முன்பே திட்

டமிட்டு ஏற்பாடு செய்த விதத்தில் இச்சைகைகளின் கட்டநிலேகளது வினியோகம் அமைந்திருக்கும். இம் மாதிரியான ஒரு சைகைக்குப் பொருந்திய வடிப் பானே அமைப்பது மிகக் கடினமான பிரச்சினேயாகி விடுகிறது. ''தட்டி விடப்பட்ட தாமத மின்சுற்றுக ளின்'' (tapped delay lines) அடிப்படையிலே பொருந்திய வடிப்பான்களே அமைப்பதே தற்போது வழக்கமாய் இருந்து வருகிறது. ஒவ்வொரு தட்டு முறையும் (tap) கட்டநிலே மாற்றில் வந்து முடிவுறு கிறது. 1000 மாதிரிச் சைகைகளேக் கொண்டிருக்கும் ஒரு தனிச் சைகைக்குத் தாமத மின்சுற்ருனது 1000 தட்டு முறைகளேயும் 500 கட்டநிலே மாற்றிகளேயும் கொண்டிருக்கும் (சைகை மாதிரிகளில் சுமார் ஒரு பாதிக்குக் கட்டநிலேயை மாற்ற வேண்டியிராது) இந்த 1000 சைகை மாதிரிகளேயும் ஒன்ருகச் சேர்க்க, மிகவும் முன்னேற்றமடைந்த சேர்ப்பானே உபயோ கிக்க வேண்டியிருக்கும்.

ஆனுல் தொல்லேகள் இத்துடன் முடிவுற்றுவிட வில்லே. வல்லுநர்களின் கூற்றுபடி தாமத மின்சுற்றில் செல்லும் ஒரு சைகை வலிவு குன்றி விடுகிறது. ஏனெ னில் தாமத மின்சுற்றை அமைக்கப் பயன்படுத்தப்ப டும் பொருட்கள் கணிச அளவிலான ஆற்றலே அந்தச் சைகையிடமிருந்து உட்கொண்டு விடுகின்றன.

ஆகவே 173ஆம் பக்கத்திலுள்ள படம் அவ்வளவு சரியானது என்று கூற முடியாது. ஆயிரம் வெளியீடு களேக் கொண்டிருக்கும் நீளமான தாமத மின்சுற் றினே வரைவதாகக் கொண்டால் சைகைகளேக் குறிப் பிடும் சிறுமனிதர்கள் வெவ்வேறு உயரமுடையவர்

களாக இருப்பார்கள். சைகை முழுமையும் மாற்ற மின்றி அப்படியே திரும்பவும் உண்டாக்கப்பட வேண்டுமானுல் எல்லா மாதிரிகளும் (பல்வேறு வெளியீடுகளிலிருந்தும் வரும் சைகைகளும்) ஒரே அளவு அலைவீச்சு கொண்டவையாய் இருக்க வேண்டும். இதைப் பெற நாம் பல தட்டு முறைகளிலும் பெருக்கிகளை (amplifiers) அமைக்க வேண்டும், குறிப்பாகத் தாமத மின்சுற்றின் இறுதியில் இவைகளை அமைக்க வேண்டும். அதாவது பொருந்திய வடிப்பான் மேலும் சிக்கலானதாக வேண்டும் என்பதே இதன் அர்த்தம், மற்றும் வெப்ப நிலையில் மாற்றம், கரகரப்பு, பக்கத்து ஏற்பிகளின் குறுக்கீடு ஆகியவற்றின் விளைவுகளிலிருந்து வடிப்பானைக் காப்பதற்குத் தேவையான பல வேறு ஏற்பாடுகளையும் சேர்த்துக் கொள்ள வேண்டும். பொருந்திய வடிப்பான்களை உருவாக்குவது இவ்வாறு கடினமாகி விடுவதால், இவை இல்லாமலே சைகையைச் சுருக்க எளிய வழியைக் கண்டுபிடிப்பது அவசியமாகியது.

எளிய வழி

தொடர்பாடு காட்டி (correlation detector) அமைவு ஒன்றைப் பயன்படுத்துவது சைகையினைச் சுருக்குவதற்கான ஓர் எளிய வழியாகும். இந்த அமைவு இரு உள்ளீடுகளைக் கொண்டது. ஓர் உள்ளீடு வருகின்ற சைகையினை ஏற்றுக் கொள்கிறது, மற்ருென்று குறிப்புச் சைகை (reference

signal) என்றழைக்கப்படுவதை ஏற்றுக் கொள்கிறது. வெளியே அனுப்பப்படும் துடிப்பின் ஒரு பகுதியே இந்த குறிப்புச் சைகை ஆகும். இத்துடிப்பின் ஒரு பகுதி தாமத மின்சுற்றின் மூலம் தொடர்பாடு காட்டிக்குக் கசிந்து சென்று குறிப்புச் சைகையாகிறது. தொடர்பாடு காட்டியானது இரு சைகைகளையும் ஒப்பிட்டு, அவை முழுதும் ஒத்தவையாக இருந்தால், அதன் வெளியீட்டில் உறுதியான கூர் முனைச் சிகரத்தை (peak) உண்டாக்குகிறது. இந்தச் சிகரம், பொருந்திய வடிப்பானில் உள்ள சிகரத்தைப் போன்றதாகும். உட்செல்லும் இரு சைகைகளும் மாறுபட்டால், தொடர்பாடு காட்டி மிகச் சமான்யமான ஒரு சைகையையே உண்டாக்கிறது. இந்தச் சமான்ய சைகை சுற்றுப்புற இரைச்சலுக்கிடையே கண்டறிய முடியாதபடி அமுந்தி விடுகிறது.

மேற்கண்ட எடுத்துக் காட்டில், தொடர்பாடு காட்டிக்கு நாம் எப்போது குறிப்புச் சைகையை அளிக்க வேண்டுமென்று முன்கூட்டியே தெரிந்து வைத்திருப்பதாக வைத்துக் கொண்டோம். ஆனல் அது சரியல்ல. எப்போது குறிப்புச் சைகையை அளிக்க வேண்டும் என்று நமக்குத் தெரியாது. எதிரடிக்கும் இலக்கு எத்தொலைவில் இருக்கிறது என்பது தெரிந்தால் ஒழிய, குறிப்புச் சைகையை எப்போது அளிக்க வேண்டுமென்று கணிக்க இயலாது. இலக்கின் தொலைவை அறிவதே எந்த ரேடாருக்குமான இறுதிக் குறிக்கோள். ஆகவே இங்கு நாம் ஒரு நச்சுச் சுழலில் சிக்கிக் கொள்கிறோம். இச்சுழலில் இருந்து வெளிப்படுவதற்கு என்ன வழி? குறிப்புச் சைகையை இடை

நேரம் விட்டு விட்டு ஓயாமல் தொடர்ச்சியாகத் தொடர்பாடு காட்டிக்கு அளித்துச் செல்வதே இந்த வழி. இலக்கின் எதிரடிப்புச் சைகையானது ஏரியலை வந்தடையாத தருணங்களில் தொடர்பாடு காட்டியானது குறிப்புச் சைகையும் எப்போதும் இருக்கும்படியான இரைச்சலையும் மட்டும்தான் பெறுகின்றது. ஆகவே இத்தருணங்களில் வெளியீட்டில் சைகை ஏதும் இருக்காது. இதற்கு மாருக, குறிப்புச் சைகையும் இலக்கின் எதிரடிப்புச் சைகையும் ஆகிய இரண்டும் தொடர்பாடு காட்டியை வந்தடையுமாயின், தொடர்பாடு காட்டியின் வெளியீட்டில் சுருக்கப்பட்ட வலிவான சைகை உடனே தோன்றும். இப்படி நேரிடும் தருணத்தில் ரேடார்த் திரையில் இலக்கைக் குறிக்கும் பிரகாசப் புள்ளி தெரியும். விட்டு விட்டு அனுப்பப்படும் குறிப்புச் சைகையில் ஒரு முக்கிய குறைபாடு என்னவென்ருல், சிக்கலான தாமத மின்சுற்றுகளையும் சுற்ருேட்டிகளையும் உபயோகிக்க வேண்டியிருப்பதுதான். பொருந்திய வடிப்பான்களுக்கு ஒப்பான சிக்கல் வாய்ந்தவை இந்த அமைவுகள். தொடர்பாடு காட்டியால் பெறக்கூடிய அனுகூலங்கள் யாவும் இவ்விதம் ஒழிக்கப்பட்டு விடுகின்றன (தொடர்பாடு காட்டியானது உண்மையில், வழக்கமான பெருக்கியும் ஒருங்கு இணைப்பியும் சேர்ந்த அமைவுதான்). ஆனுல் தொடர்பாட்டுக் கோட்பாட்டின் அடிப்படையில் இயங்கும் ரேடார்கள் மதிப்பிடற்கரிய ஒரு பண்பினைப் பெற்றிருக்கின்றன—இவை பயன்படுத்தும் சைகைகளின் அலைவடிவத்தை நம் விருப்பம் போல்

மாற்ற முடிகிறது. அலைவடிவத்தை மாற்றுவதற்குத் தேவையானது ஒன்றே ஒன்றுதான்—வெளியே அனுப்பப்படும் துடிப்புகளைத் தருகின்ற அலையியற்றியை (oscillator) மாற்றமைவு செய்ய வேண்டியது தான். இந்த மாற்றமைவு எந்த விதத்திலும் தொடர்பாடு காட்டியின் இயக்கத்துக்கு இடையூறாகி விடுவதில்லை. ஏனெனில் அலையியற்றியிலிருந்துதான் குறிப்புச் சைகையைப் பெறுகிறோம். இந்தக் குறிப்புச் சைகையின் அலைவடிவம், வெளிச் செல்லும் துடிப்பில் மாற்றம் ஏற்படும் போது அதற்கேற்பத் தானாகவே மாறி விடுகிறது. பொருந்திய வடிப்பானைப் பயன்படுத்தும் ரேடாரின் ஏற்பியால் இதைச் செய்ய முடியாது. ஏனெனில் சைகையைக் கண்டறிவதற்கான மின்சுற்றுகளின் சிக்கலான அமைப்பை நாம் தக்கபடி மாற்றமைவு செய்து கொண்டிருப்பது இயலாத காரியமாகும்.

வெளியே அனுப்பப்படும் சைகைகளின் அலைவடிவத்தை நம் விருப்பம் போல் மாற்றம் முடியும்படியான இந்தப் பண்பு மதிப்பிடற்கரிய ஒரு பண்பாக அமைவதற்குக் காரணம் என்ன? ஒரேயொரு அலைவடிவத்தில் மட்டுமே சைகைகளை அனுப்பக் கூடியதான ஒரு ரேடார் கருவி போர்க் களத்தில் பயன்படுத்தப் படுவதாக வைத்துக் கொள்ளுங்கள். எலக்ட்ரானிக் சாதனங்களைக் கொண்ட பகை வேவுப் படையினர் பல விதமான அதிர்வெண்களையும் உபயோகிக்கும் ரேடார்களையும் ஓயாமல் தேடிக் கொண்டிருக்கிறார்கள். நம்முடைய ரேடாரின் சைகைகளை அவர்கள் போதிய எண்ணிக்கையில் தமது

கருவிகளைக் கொண்டு சேகரித்துக் கொள்வார்களாயின், நமது ரேடாரின் சைகையினது அதிர்வெண், துடிப்பு நேரம், மற்றும் தனிப்பட்ட துடிப்புகளின் அலைவடிவம் ஆகியவற்றையெல்லாம் கணித்துக் கொண்டு விடுவார்கள். இந்த விவரங்கள் தெரிந்ததும் பகைவன் சக்தி வாய்ந்த தனது அலைபரப்பிகளைக் கொண்டு தக்க சைகைகளை அனுப்ப முற்படுவான். நமது ரேடார் அனுப்பும் சைகைகளிலிருந்து பகைவனது சைகைகளை நம்மால் வேறுபடுத்தி விவரம் அறிய முடியாது. ஆகவே இல்லாத இலக்குகளின் எதிரடிப்பு சைகைகள் நமது ரேடார் திரையில் தெரியும்.

நம்முடைய ரேடாரைச் செயல்படுத்த முடியாவண்ணம் செய்வதற்குப் பகைவனுக்கு வேறு பல வழிகளும் உண்டு. எடுத்துக்காட்டாக, நம்முடைய ரேடார் பயன்படுத்தும் அதிர்வெண் பட்டை முழுமையையும் கவரும்படி மிகவும் சக்தி வாய்ந்த இரைச்சலான சைகைகளைப் பகைவன் வெளியிட முடியும். இப்போது எந்த இலக்கையும்—பொய்யானது மெய்யானது என்ற பேதமின்றி எதையும்—நமது ரேடாரால் கண்டறிய முடியாது. இம்மாதிரியான நிலைமையில் தொடர்பாட்டுக் கோட்பாடானது நமக்கு மிகப் பெரிய அளவில் உதவுகிறது. நாம் அனுப்பும் சைகையின் வடிவம் தொடர்ந்து மாறுபட்ட வண்ணம் இருக்கும் போது, பகைவனால் ஒன்றும் செய்ய முடியாமற் போகிறது.

பொருந்திய வடிப்பானோடு ஒப்பிடும் போது, இந்தத் தொடர்பாடு காட்டி மேலும் பல்வேறு

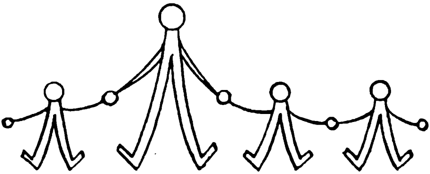
வகையிலும் ஆகிய சைகைகளைப் பயன்படுத்த முடிகிறது. முன்பே அறிமுகமான FM மற்றும் PM சைகைகள் மட்டுமின்றி, குருட்டாம் போக்கு இரைச்சல் வடிவிலான மாதிரிகளையும் தொடர்பாடு காட்டியுடன் கூடிய ஏற்பியானது பயன்படுத்தும். இந்த மாதிரி சைகைக்குரிய பொருந்திய வடிப்பானை உருவாக்க முடியாது. இம்மாதிரியான சைகைகளைப் பகைவன் கண்டறிவது எளிதன்று. அதாவது சாதாரண ஏதோ இரைச்சல்தான் என்று பகைவன் இச்சைகைகளைத் தவறாக எண்ணிக் கொள்ள வேண்டியிருக்கும். அப்படியே எப்போதாவது சில சந்தர்ப்பங்களில் பகைவன் இச்சைகைகளைக் கண்டறிந்து கொண்டு விட்டாலும் இவற்றின் இயல்பு விவரங்களை அவனால் கணிக்க முடியாது.

ஆக, இறுதியாகப் பார்க்கையில், தொடர்பாடு காட்டியும் பொருந்திய வடிப்பானும் அதற்கும் உரிய சிறப்புகளையும் குறைகளையும் பெற்றிருக்கின்றன. எதைப் பயன்படுத்துவது என்பது சூழ்நிலை, குறிக்கோள், உற்பத்தி செய்வதற்கு எது சுலபமானது ஆகிய பல விவரங்களின் அடிப்படையில் முடிவு செய்யப்பட்டாக வேண்டும். தொடர்பாடு காட்டியை உபயோகித்தாலும் சரி, பொருந்திய வடிப்பானை உபயோகித்தாலும் சரி, சைகையைக் கண்டறிவதற்கான முறையின் பௌதீக அடிப்படை ஒன்றேதான். இலக்கைக் கண்டறிதல், இலக்கைப் பிரித்துணர்தல் ஆகியவற்றின் நம்பகத் தரத்தை உயர்த்தும் பொருட்டு, நாம் எதிரடிப்புச் சைகையினைச் சுருக்குகிறோம்.

பெரிதும் பயன்படும் ஏற்பாடாயினும், அதுவும் அதற்குரிய குறைகளைப் பெற்றிருக்கவே செய்கிறது. துடிப்புச் சைகைகளைச் சுருக்குகையில் வேண்டாத உடன் விளைவுகள் சில ஏற்படுகின்றன. இவை குறித்து விவாதிப்போம்.

அழையா விருந்தாளிகள்

நம்மால் முடிந்ததை எல்லாம் செய்து விட்டதாகவே தோன்றுகிறது. இரைச்சல் அளவிற்கு மேல் போதிய அளவுக்குச் சைகையானது உயர்த்தப்பட்டும், எந்த இலக்கையும் போதிய துல்லியத்துடன் குறிப்பிட்டுக் காட்ட முடியும்படி சுருக்கப்பட்டும் இருக்கிறது. இனி நமது திட்டங்களை வரைபடங்களாகவும் மின்சுற்று வரைகளாகவும் மாற்றினுல் உற்பத்தியாளர்கள் யாவற்றையும் உலோகத்திலும் பிறவற்றிலும் கருவிகளாகவும் பாகங்களாகவும் தயாரித்து அளிப்பார்கள், கோத்திணைப்பாளர்கள் யாவற்றையும் கோத்து அமைத்து ஒழுங்கு செய்வார்கள். பிறகு ரேடார் நிலையம் இயக்கப்பட்டு வெள்ளோட்டம் நடத்தப்படும். ஊழியர்கள் இதைக் கொண்டு இலக்குகளைக் கண்டறிவார்கள், அல்லது தடம் கண்டு கூறுவார்கள். ஆனுல் மெய்ந் நடப்பில் நிலைமை இவ்வாறு இல்லை, தடங்கல்கள் பலவும் இருக்கக் காண்கிறேம். மிகப் பெருந் தடங்கல் உண்டாக்குகிறவை பக்க மடல்கள் (side lobes) எனப்படுபவை.

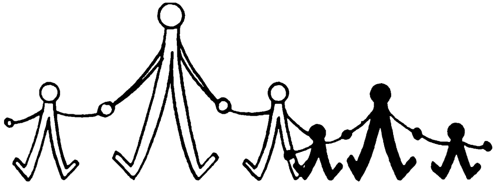


பொருந்திய வடிப்பான் அல்லது தொடர்பாடு காட்டியிலிருந்து வெளிச் செல்லும் சுருக்கப்பட்ட சைகையானது, தனித்துச் சொல்லாமல், தனது இளவல்களான பக்க மடல்களையும் கூட இழைத்துக் கொண்டு செல்கிறது. இந்தப் பக்க மடல்கள் சிறியவையே என்றாலும் இவற்றைக் கவனியாது ஒதுக்க முடிவதில்லை. ஏனெனில் இவை நமக்குத் தொல்லை அளிக்கின்றன. இதற்குக் குறைந்தது இரண்டு காரணங்கள் உண்டு.

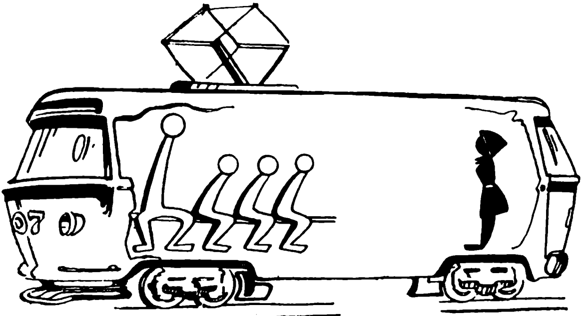
முதலாவதாக, சுருக்கப்பட்ட சைகையின் அருகில் இரைச்சலின் அளவை இந்தப் பக்க மடல்கள் அதிகப்படுத்துகின்றன. இரைச்சல் துடிப்புடன் (noise pulse) பக்க மடல்களில் ஏதாவது ஒன்று இணையும் போது இவற்றின் கூட்டுத் தொகையானது ஒரு தவறான எதிரடிப்பை உண்டாக்கப் போதுமானதாகி விடுகிறது. இதன் விளைவாய் தவறான அபாய எச்சரிக்கை அளிக்கப்படும்படி நேரும்.

இரண்டாவதாக, இரைச்சல் மிகவும் குறைந்த அளவிற்கு இருந்த போதிலும் ரேடார் படத்தை இந்தப் பக்க மடல்கள் உருக்குலைக்கின்றன. சைகையின் வலுவில் மிகப் பெரிய பக்க மடல் ஒன்றின் வலு பத்தில் ஒரு பங்காய் இருப்பதாகக் கொள்

வோம். அதோடு இரு வேறுபட்ட இலக்குகளிலிருந்து இரு எதிரடிப்புகள் ஏரியலே வந்தடைவதாகவும் கொள்வோம். இரு எதிரடிப்புகளில் ஏதாவதொன்று (இரண்டாவது என்று வைத்துக் கொள்வோம்) மற்றொன்றைப் போலப் பத்தில் ஒரு பங்கு அதிக வலுவுள்ளதாக அமைய நேரக் கூடும். இப்போது முதற் சைகையின் பெரிய பக்க மடலானது இரண்டாவது பிரதான சைகையின் வலுவிற்கு ஒப்பானதாக இருக்கும். இப்படிப்பட்ட சந்தர்ப்பத்தில் எது உண்மையான சைகை, எது பக்க மடல் என்று கூற முடியாமற் போய் விடும். அதோடு, இரண்டாவது சைகை வலுவில் குன்றியதாக இருந்து பக்க மடல் வலுவானதாக இருந்தால் நிலைமை இன்னும் மோசமாகி விடும். இப்படி நேருமாயின் ரேடார் படம் ஒரே குழப்படியாக இருக்கும். இந்த நிலைமையில் இரண்டாவது எதிரடிப்பை நாம் தவற விடும்படியான அபாயம் ஏற்படும். நாம் ஆராயும் பரப்பில் இரண்டாவது இலக்கு ஒன்று இருக்கிறது என்று நமக்கு நிச்சயமாகத் தெரிந்து, இந்த இரண்டாவது இலக்கிலிருந்து வரும் எதிரடிப்பைக் கண்டறிவதற்காகத் தேடிக் கொண்டிருந்தோமானால், முதல் சைகையின் பக்க மடலை இரண்டாவது இலக்கின் எதிரடிப்பாகக் கொண்டு நாம் தவறிழைக்க நேரும். சைகையைப் போன்றே பக்க மடலும் அதே அளவுக்கு இருப்பதால் எளிதில் இவ்வாறு நேர்ந்து விடக் கூடும். எதிரடிப்பைத் தவற விடுவது போன்ற மோசமான தவறே ஆகும் இது. ஏனெனில் இலக்கு இல்லாத ஓரிடத்தில் இலக்கு இருப்பதாகக் கருதிக் கொண்டு விடுவீர்கள்.



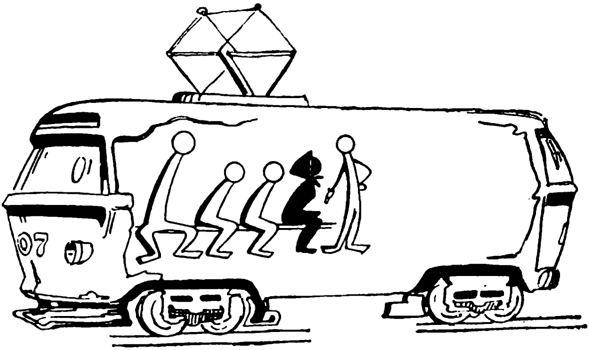
ஆகையால்தான் இந்தப் பக்க மடல்கள் தொல்லை தரு வனவாகக் கருதப்படுகின்றன. ஆனால் இவற்றை நம்மால் முழு அளவுக்கு அகற்ற முடிவதில்லை. இங் குள்ள சங்கடம் என்னவென்றால், பக்க மடல்கள் அவற்றுடன் இணைந்த சைகையின் விகிதத்திற்கேற்ப மாறுபடுகின்றவை. நமக்குத் தேவையான சைகை யின் வலுவினை நாம் 10 மடங்கு உயர்த்தினால் பக்க மடல்களும் அதே விகிதத்தில் உயர்ந்து விடுகின்றன. அதே போல சைகையானது வலுவில் குறைக்கப்ப டும் போதும் அதே விகிதத்துக்குப் பக்க மடல்களும் வலுக் குறைகின்றன. தவிரவும் பக்க மடல்கள் தமது



மொத்த ''கன அளவினை'' (volume) மாற்றுமல் வைத்துக் கொள்ள முயலுகின்றன. பக்க மடல்களில் சிலவற்றை நாம் ஏதேனும் ஒரு வழியில் குறைக்க முயலுவோமாயின் அதே அளவுக்கு ஏனைய பக்க மடல்கள் வலுவில் அதிகரித்து விடுகின்றன. பகுதி அளவுக்கேனும் பக்க மடல்களைக் குறைக்க வழிவகைகள் இருப்பது மெய்தான். ஆனால் இவ்வழிகள் எல்லாம் சிக்கலானவை, எப்போதும் நம்பக் கூடிய முறையில் நடைபெறுகிறவை அல்ல. மேலும் பக்க மடல்களைக் குறைக்கும் போது, நமக்கு வேண்டிய சுருக்கப்பட்ட சைகையும் உருக்குலைக்கப்படக் கூடும், அல்லது அளவில் குறைக்கப்படக் கூடும் என்பதையும் நாம் நினைவில் கொள்ள வேண்டும். ஆகவே ரேடார் வல்லுநர்கள், இந்தப் பக்க மடல்கள் மிகவும் வலுவுள்ளவையாக வளராமல் பார்த்துக் கொள்வதற்கு மேல் ஒன்றும் செய்வதற்கில்லை.

பல்வேறு ரேடார் சைகைகளுக்கேற்ப, பக்க மடல்கள் தம்மை வெவ்வேறு விதமாய் அமைவு செய்து கொள்கின்றன. சாதாரணமாக, சுருக்கப்படாத சைகையின் கால அளவிற்கு இரண்டு மடங்கான இடைவெளியில் இந்தப் பக்க மடல்கள் அமைந்துள்ளன. இந்த இடைவெளிக்கு நடுவில் சுருக்கப்பட்ட சைகை அமைந்திருக்கிறது. சில சைகைகளுக்கு இந்தப் பக்க மடல்கள் ஒரே சீராக இடைவெளி முழுவதும் அமைந்து வலுவிலும் சமமாக இருக்கின்றன. மற்றவற்றிற்கு இந்த பக்க மடல்கள் வலுவில் வேறுபடுகின்றன. மடல்களில் மிகப் பெரியவை சுருக்கப்பட்ட சைகையின் அருகிலோ அல்லது இடை

வெளியின் ஓரங்களிலோ காணப்படுகின்றன. சரியான சைகையைத் தேர்ந்தெடுத்து அதை ஒழுங்குபடுத்துவது மூலம் நமக்குத் தேவையான முறையில் பக்க மடல்களைப் பெறலாம். சில சிறு இடைவெளியில் சிறு பகுதிகள் சிலவற்றில் இம்மடல்கள் அறவே இல்லாதபடிச் செய்து சைகைகளை மட்டும் பெற முடியும். பக்க மடல்களுக்குள்ள இந்த இயல்பினைத் தான் ரேடார் வல்லுநர்கள் பயன்படுத்தித் தொல்லையிலிருந்து விடுபட்டுப் பயன் பெற முயலுகிறார்கள். சிறியதாகிய இரண்டாவது இலக்கால் எதிரடிக்கப்பட்டுத் திரும்பி வரும் சைகை எப்போது வந்து சேரும் என்பது நமக்குத் தெரிவதாக வைத்துக் கொள்வோம். அப்போது அத்தருணத்தில் மிகச் சிறிய பக்க மடலைக் கொண்டிருக்கக் கூடிய, அல்லது பக்க மடலே அத்தருணத்தில் இல்லாதிருக்கக் கூடிய சைகையாக ஒன்றைத் தெரிந்தெடுத்து நாம் அவ்விலக்கை நோக்கிச் செலுத்தலாம். இப்போது இலக்கு எவ்வளவு சிறியதாயினும், நம்மால் அதைக் கண்டறிந்து கொண்டுவிட முடியும். பிற தருணங்களில் பக்க மடல்கள் வலுவில் வளர்ந்து பெரிதாகி விடுவது குறித்து இங்கு நாம் கவலைப்படத் தேவையில்லை. இலக்குகள் ஒன்றுக்கொன்று நெருங்கியனவாகச் சென்று கொண்டிருப்பது நமக்குத் தெரியுமாயின், சுருக்கப்பட்ட சைகைக்கு அருகிலுள்ள இடத்தைப் பக்க மடல்கள் இல்லாதபடி நாம் காலி செய்து வைத்துக் கொள்ள முடியும். இங்குள்ள படத்தில் பஸ்ஸுக்குள் ஏறும் பெண்ணுக்கு அமர இடம் காலி செய்து தரப்படுவது போலவே இதை நாம் செய்ய முடி



யும். சிறு இலக்கு ஒன்று எவ்விடத்தில் இருக்கிறது என்று முன்கூட்டயே நமக்குத் தெரிவதாக வைத்துக் கொள்வோம் (நடைமுறையில் இது நமக்கு இப்படித் தெரிந்திருப்பது அரிதிலும் அரிதுதான்). அப்போது நாம் இடைவெளியில் தக்க பகுதியில் பக்க மடல் இல்லாதபடி அகற்றிக் கொள்ளலாம். இப்படியல்லாமல், இரண்டாவது இலக்கு குறித்து நமக்கு எதுவும் (காலமோ, இடமோ) தெரியாது என்ருல், நடுத்தர வலுவுள்ள பக்க மடல்களைக் கொண்டதும், இந்தப் பக்க மடல்கள் இடைவெளி முழுதும் ஒரே சீராகப் பரவி நிறைந்திருக்கும்படி அமைந்ததுமாகிய ஒரு சைகையை நாம் தெரிந்தெடுத்துக் கொள்ளலாம். இலக்கைப் பற்றி முன்கூட்டியே தகவல் ஏதும் இல்லாத நிலையில் இப்படிச் செய்வதே நமக்குள்ள சிறந்த வழி.

சுருக்கமாகச் சொல்லும் இடத்து, குறிப்பிட்ட ஒவ்வொரு நிலைமையிலும் அந்நிலைமைக்கு மிகவும்

பொருத்தமான சைகை ஒன்று இருக்கிறது. எல்லா நிலைமைகளிலும் ஒருங்கே பொருத்தமாக இருக்கக் கூடிய சைகை ஒன்றை வகுத்திடுவதில் ரேடார் வல்லுநர்கள் இதுகாறும் வெற்றி பெறவில்லை. இனி முடியுமென்று சொல்வதற்குமில்லை. ரேடாருக்கு எந்தச் சைகை யாவற்றிலும் சிறந்தது என்ற கேந்திரக் கேள்வி அனேகமாய் விடை காண முடியாத ஒன்றாகவே இருந்து வருகிறது என்று அமெரிக்க ஐக்கிய நாட்டின் தலைமையான ரேடார் விஞ்ஞானிகளில் ஒருவரான உட்வார்டு நம்பிக்கைக்கு இடம் இல்லாத முறையில் தெரிவித்த கருத்தை இவ்வாசிரியர் ஆமோதிப்பதைத் தவிர வேறு வழி ஏதும் இல்லை.

சைகையை அனுப்பி, எதிரடிப்பைப் பெற்று, இலக்கின் இடநிலையைக் கண்டறிவது எப்படி

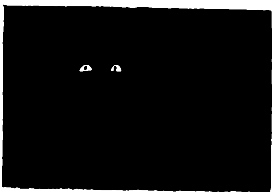
ரேடாரின் அலை பரப்பி குறித்து மேலும் சிறிதளவு இப்போது நாம் விவரம் தெரிந்து கொண்டாக வேண்டும். வழக்கம் போல் ஓர் ஒப்புமையைச் சொல்லி நமது பரிசீலனையைத் தொடங்குவோம்.

மையிருட்டாய் இருக்கும் ஓர் அறையில் நீங்கள் எதையோ தேடிக் கண்டுபிடிக்க வேண்டி வருவதாக வைத்துக் கொள்வோம். சந்தர்ப்பச் சூழ்நிலைக்கு ஏற்பப் பலவிதமான நிலைமைகளும் எழலாம். ஒவ்வொரு நிலைமையாய் யாவற்றையும் ஆராய்வோம்.

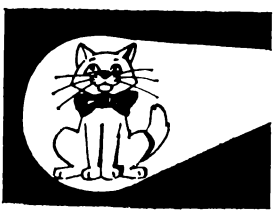
நிலைமை எண் 0. ஒரு சிறு பொருளை—எடுத்துக் காட்டாக ஒரு பென்சிலை—நீங்கள் தேடிக் கண்டு



பிடிக்க வேண்டும். அறையில் விளக்கு இல்லை. உங்களிடம் பாட்டரி லைட்டும் இல்லை. மையிருட்டில் தடவிச் சென்று தேடிப் பார்க்கிறீர்கள். நான் பந்தயம் கட்டுகிறேன்—உங்களால் பென்சிலைக் கண்டுபிடிக்க முடியப் போவதில்லை.

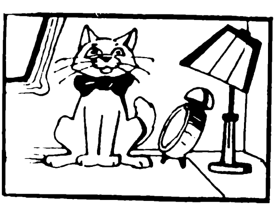


நிலைமை எண் 1. நீங்கள் இருளில் ஒளி வீசுகிற மணி முகப்புடன் கூடிய ஒரு அலா





ரம் கடிகாரத்தையோ, நமது பழைய நண்பனாகிய பூனை ஒன்றையோ கண்டுபிடிக்க வேண்டும் என்று வைத்துக் கொள்ளுங்கள். அறையில் விளக்கு ஏதும் இல்லை; விளக்கு தேவையும் இல்லை. அறையினுள்ளே



நுழைந்து கவனமாகச் சுற்று முற்றும் பாருங்கள். கடிகாரம் (அல்லது பூனை) தன்னைத் தானே உங்களுக்குக் காட்டிக் கொண்டு விடுகிறது.

நிலைமை எண் 2. முன் போலவே ஒரு பூனையைக் கண்டுபிடிக்க வேண்டும் என வைத்துக் கொள்ளுங்கள். இப்போது நீங்கள் ஒரு பாட்டரி லைட்டை எடுத்துச் செல்கிறீர்கள். லைட்டை எரியச் செய்து அதன் ஒளிக் கற்றையைப் பூனை ஒளிந்திருக்கக் கூடிய இடங்கள் யாவற்றின் மீதும் ஒவ்வொன்ருகப் பதியச் செய்கிறீர்கள் (துப்பறியும் திரைப்படத்தில் திருடன் செய்வதைப் போல). பூனை எங்கு ஒளிந்திருந்தாலும்—படுக்கைக்கு அடியில் இருந்தாலும் சரி, அல்லது ஆடை அலமாரிக்குள் இருந்தாலும் சரி—நிச்சயமாய் நீங்கள் அதைக் கண்டுபிடித்து விட முடியும்.

நிலைமை எண் 3. யாவற்றிலும் எளியது இது. அறையின் முகட்டு மின் விளக்கைப் போடுங்கள். அறையினுள் இப்போது உங்களுக்குக் கண் தெரிகிறது. உங்களுக்கு வேண்டியதை நீங்கள் தேடிக் கண்டுபிடித்து **விடலாம்.** பல தரம் சுற்றும் முற்றும் திரும்பிப் பார்க்க வேண்டியிருக்கலாம், அல்லது குனிந்து பார்க்கும்படி நேரலாம், அல்லது விரல் நுனியில் நின்று கொண்டு உயரமான முடுக்குகளில் எல்லாம் எட்டிப் பார்க்க வேண்டியிருக்கலாம் (அதனுல் என்ன? பரவாயில்லை).

நிலைமைகளை இப்படிப் பட்டியலிட்டுக் கொண்ட பின், உங்களுக்குச் சிரமம் இருக்காது. இலக்குகளை ரேடார் எப்படிக் கண்டுபிடிக்கிறது என்பதைத் தெரிந்து கொண்டு விடலாம். இந்த நிலைமைகளை

இவற்றுக்கு ஒத்த ரேடார் சூழ்நிலைமைக்குப் பொருத்திப் பார்த்தீர்களாயின் யாவும் தெளிவாகி விடும்.

நிலைமை எண் 0. ரேடாரின் கண்ணோட்டத்தில் இது கருத்துக்கு உரியதல்ல. இந்த நிலைமையில் ரேடார் இயங்காமல் சும்மாயிருக்கிறது, எந்த இலக்கையும் கண்டறிய முடியாது.

நிலைமை எண் 1. உங்களது ரேடாரின் அலை ஏற்பிக்குப் பொருத்தமான சைகைகளை இலக்கானது தானே அனுப்பி வைக்கிறது. ரேடார் அலை பரப்பி செயல்படாமல் சும்மாயிருக்கிறது. ஆகவே அலைகளை அனுப்பாத இலக்குகளையோ, உங்கள் ரேடாரின் ஏற்பிக்குப் பொருந்தாத அலைகளை அனுப்பும் இலக்குகளையோ கண்டறிய இந்த நிலைமையில் வழியில்லை. ரேடார் அலைக் கற்றையினை ஆய்வுக்குரிய பரப்பில் செலுத்துவதன் மூலம், அலை அனுப்பும் இலக்குகளைக் கண்டறிந்து அவற்றின் கோண அளவுகளை நாம் நிர்ணயிக்க முடிகிறது. ஆனால் நம்மால் அவற்றின் குறிதூரத்தினைக் கண்டுபிடிக்க முடியாது. ஏனெனில் இலக்குச் சைகை நம்முடைய ஏரியலை நோக்கி எப்போது தன் பயணத்தைத் தொடங்குகிறது என்பது நமக்குத் தெரியாது. இது முனைப்பில்லாத ரேடார் (passive radar) ஆகும். இதனுடைய பெரிய அனுகூலம் என்னவெனில், இது தனது சைகைகளை அனுப்பாமலே இலக்குகளது சைகைகளைக் கொண்டு இலக்குகளைக் கண்டறிகிறது, அதாவது தான் இருக்கும் இடத்தைப் புலப்படுத்திக் கொள்ளாமல் செயல்படுகிறது. இதன் பிரதிகூலங்கள் தெளிகாகவே விளங்குகின்றன. நாம் கண்டறிய வேண்டிய எல்லா இலக்குகளும் தாமே சைகைகளை,

அதுவும் நமது ரேடாரின் அலை ஏற்பிக்குப் பொருத்த மான சைகைகளை அனுப்பிக் கொண்டிருக்கும் என்று எதிர்பார்க்க முடியாது.

நிலைமை எண் 2. ரேடார் அலை பரப்பி முன்னரே தீர்மானிக்கப்பட்ட முறையில், ஆய்வு எல்லைக்குள் ஒவ்வொரு பகுதிக்கும் ஆய்வுத் துடிப்புக்களை அனுப்பு கின்றது. ''ஒளியூட்டப்பட்ட'' ஒடுக்கமான கூம்பி லிருந்து எதிரடிக்கப்படும் சைகைகளை ஏற்றுக் கொள் ளும் நிலைக்கு அலை ஏற்பியானது திருப்பப்படுகிறது, அல்லது (கட்டநிலை இடைவெளித் தொடராக இருந் தால்) சுரம் செய்யப்படுகிறது. சைகைகளை அனுப்பு வதற்கும், ஏற்பதற்கும் ஒரே ஏரியலே பயன்படுத்தப் படலாம். ஆய்வுத் துடிப்புகளை அனுப்புவதற்காக ஏரியலானது அலை பரப்பியுடன் இணைக்கப்படுகின் றது. அலை பரப்பியின் துடிப்பு அனுப்பப்பட்டதும் ஏரியலானது ஏற்பியுடன் இணைக்கப்பட்டு, அதிகபட்ச தொலைவிலுள்ள இலக்கிலிருந்து சைகை வந்து சேர் வதற்கு ஆகும் நேரம் வரை எதிரடிப்பை எதிர் பார்த்து ரேடார் காத்திருக்கிறது. எதிரடிப்பு ஏதே னும் கிடைத்ததும் ஏரியலானது குறிப்பிட்ட கோணம் திருப்பப்பட்டு அனுப்புதல்-ஏற்றல் சுழல் நிகழ்வு திரும்பவும் நடந்தேறுகிறது. இது செயல் முனைப்புள்ள ரேடார். இலக்குகள் விரும்பினாலும் இல் லாவிட்டாலும் அவை கண்டறியப்படுகின்றன. ஏரி யலைத் தக்கபடி அவ்வப்போது பரப்பியோடும் பிறகு ஏற்பியோடும் இணைத்திடுவதே இந்தச் செயல் முறையில் கேந்திரமான நடவடிக்கை. தக்க ஏரியல் சுவிட்சை (அல்லது டியூப்ளக்சரை) அமைத்திடுவதற்

காகப் பொறியாளர்கள் அரும் பாடு பட வேண்டிய தாகி விடுகிறது.

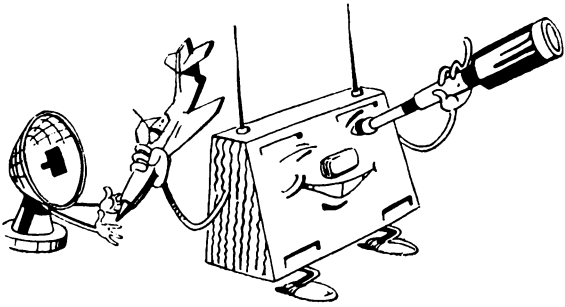
நிலைமை எண் 3. ஒரு ரேடார் சிறியதும், பெரியதுமான இரு ஏரியல்களைப் பயன்படுத்தலாம். சிறிய ஏரியல் அதிகமான பரப்பினை அல்லது ஆய்வுப் பகுதி முழுவதையுமே ''ஒளியூட்டக் கூடிய'' அகலமான கற்றையினைப் பரப்புகின்றது. குறுகிய கற்றை அமைவினை ஏற்கும் (கோண இடநிலைகளைத் துல்லிதமாக நிர்ணயிப்பதற்கு இது அவசியமாகும்) பெரிய ஏற்பி ஏரியல் ஆய்வுப் பகுதியில் இலக்குகளைத் தேடுகிறது. ஏற்பி ஏரியல் தேடும் அல்லது வரிக் கண்ணோட்டமிடும் முறையானது பரப்பும் ஏரியலின் வரிக் கண்ணோட்டமிடும் முறையோடு எவ்விதத்திலும் தொடர்புடையது அல்ல. ஏற்பி ஏரியல் பரப்பியோடு எவ்வித சம்பந்தமுமின்றி, சுயேச்சையாகச் செயல்படுவதால், அது ஒரு புத்தகத்தைப் படிப்பது போல ஆய்வுப் பகுதியினை வரி வரியாக வரிக் கண்ணோட்டமிட முடியும். அல்லது ஒரு சுருளைப் போல ஆய்வுப் பகுதியின் விளிம்புகளிலிருந்து அதன் மையத்தை நோக்கிச் சுழன்று வரிக் கண்ணோட்டமிட முடியும். ஆய்வுப் பகுதியில் ஓரிடத்தில் விசேஷமாய் ஏதேனும் தென்பட்டால், கற்றை அமைவானது அங்கேயே நிறுத்தப் பட்டுத் தேவையான நேரம் வரை ஆய்வு செய்யலாம்.

ரேடார்க் கற்றையினைக் கட்டுப்படுத்துவதற்கு ஒரு கணிப்புப் பொறியைப் பயன்படுத்துவதுதான் தற்போதைய போக்காக உள்ளது. கணிப்புப் பொறியால் மட்டுமே ஒரு குறிப்பிட்ட பகுதியினை அதிகக்

கால தாமதமின்றி தக்கபடி ஆய்ந்து, அங்கே இலக்கு ஏதாவது உண்டா அல்லது இல்லையா என்று தீர்மானித்து, பிறகு ஏரியலை அடுத்த பகுதியை நோக்கித் திருப்பும்படி இயக்குகளுக்கு உத்தரவு இட முடியும்.

ஓர் இலக்கு கண்டறியப்பட்டதும் நாம் அதன் தடத்தைப் பதிவு செய்யலாம்; அல்லது அதைப் பற்றி நினைவில் வைத்துக் கொண்டு, இன்னும் கண்டறியப்படாத பிறிதொரு இலக்கினைத் தேடலாம்; அல்லது இரண்டையுமே செய்யலாம். ஓர் இலக்கு தடப் பதிவுக்கு ஏற்ற தகுதி வாய்ந்ததா என்பதையே எல்லாம் பொறுத்திருக்கிறது. எவ்வகையான இலக்கு என்பதற்கு ஏற்ப என்ன செய்ய வேண்டுமென்று முடிவு செய்யப்படுகிறது. இலக்கானது அமைதியான செயலில் ஈடுபடும் வானிலை ஆய்வுத் துணைக் கோள் என்றால் அதனைப் பறந்து கொண்டிருக்கும்படி விட்டுவிடலாம். அது ஓர் ஏவுகணை என்றால் கணிப்புப் பொறி அல்லது இயக்குநர் மேற்கொண்டு என்ன செய்வதென்று ஆலோசித்து ஆவன செய்தாக வேண்டும்.

ரேடார்கள் இன்று தனித்துச் செயல்படுவதைக் காண்பது அரிது. பலவும் சேர்ந்து ஒருமுகமான குழுவாகச் செயல்படுவதே வழக்கமாய் இருக்கிறது. ஒவ்வொன்றும் அதற்கென வரையறை செய்யப்பட்ட வேலைகளைச் செய்கின்றது. நெடுந்தொலைவு ஆற்றல் கொண்டவை தேடிப் பிடிக்கும் ரேடார்களாகப் பணியாற்றுகின்றன. தேடும் ரேடாரானது ஓர் இலக்கினைக் கண்டறிந்ததும், அந்த இலக்கின் தடத்தைப் பதிவு செய்து காட்டக் கூடிய குறுகிய



தொலைவுக்கான ரேடார்களாகிய தனது இளவல்களிடம் பிற வேலைகளை ஒப்படைத்து விட்டு, புதிய இலக்குகளைத் தேடத் தொடங்குகிறது. தடப் பதிவு செய்யப்பட வேண்டிய இலக்கு குறிக்கப்பட்டதும், அல்லது அதன் இடநிலை அறிவிக்கப்பட்டதும், தடப் பதிவு ரேடார்கள் இலக்குகளைத் தேடுவதில் நேரத்தைச் செலவிடாமல் தடப் பதிவு செய்வதில் முழுக் கவனம் செலுத்துகின்றன. அதாவது தமது அலைக்கற்றையை அந்த இலக்கின் மீது தொடர்ந்து செலுத்தி எதிரடிப்புகளைப் பெற்று அதைப் பின்பற்றிச் சென்று விவரங்களைத் தெரிவிக்கின்றன. இந்த ரேடார்கள் குறிதவறாமல் சரியானபடி இயங்கும் பொருட்டு, இலக்கின் செல்பாதை அவற்றுக்குத் தெரிவிக்கப்படுகிறது. இலக்கின் செல்பாதையில் இரு முனைகளிலும் ஒரு குறுகலான பிரிவை வரைவதற்கான வழிமுறைகளைக் கணிதவியலாளர்கள் வகுத்தளித்திருக்கின்றனர். ஆகவே சிறிது நேரத்துக்கு இலக்கைக் கண்டு விவரங்கள் குறிக்கப்பட்ட

தும், தத்துவார்த்தத்தில் அதன் செல்வழியை ஒரு சில விஞடிகளில் ஒட்டுமொத்தமாக வரைந்துவிட முடிகிறது. இலக்கானது செயற்கைத் துணைக் கோளாக இருப்பின், நாம் அதன் சுழற் பாதையைக் கணித்து விடலாம். அது எறிவிசை ஏவுகணை எனில், அது எங்கிருந்து செலுத்தப்பட்டது, எங்கே போய்த் தாக்கப் போகிறது என்பதை ஓரளவுக்குத் துல்லிய மாகவே நிர்ணயம் செய்துவிட முடியும். பிறகு அதற் குரிய தலைமையிடங்கள் என்ன செய்வதென்று தீர் மானிக்கும். ஆனால் இது வேறொரு புத்தகத்துக்கான நூற்பொருள்.

இந்த அத்தியாயத்தை முடிப்பதற்கு முன்னால், ரேடார்களின் இயக்க முறைகளில் பலவற்றை இங்கே நாம் கவனியாது விட்டிருப்பதை மீண்டும் வலியுறுத்த வேண்டியதுள்ளது. எடுத்துக்காட்டாக, நெடுந்தொலைவில் உள்ள இலக்கினைத் தடப் பதிவு செய்வதற்காக நாம் துணை ரேடாரைப் (secondary radar) பயன்படுத்தலாம். இந்தத் துணை ரேடார் முறையில் இலக்கானது ஓர் ஏற்பியையும் பரப்பியை யும் தாங்கிச் செல்கிறது, இரண்டும் இணைக்கப்பட்டு டிரான்ஸ்பான்டர் (transponder) என்று அழைக்கப் படும் பொறியமைவு ஆகின்றன. தரையில் அமைந் துள்ள சவால் விடுப்பியிலிருந்து வரும் வலுவற்ற விசாரணைச் சைகைகளை இலக்கின் ஏற்பியானது ஏற்றுக் கொண்டு உடனே பிரப்பியை (இது பதிலளிப்பி [responder] என்று அழைக்கப்படுகிறது) செயல்பட வைக்கிறது. வலுவில்லாத எதிரடிப்புக்குப் பதிலாய் இந்தப் பதி

லளிப்பி ஒரு பதிலை விசாரணை ரேடாரின் திசையில் அனுப்பி வைக்கிறது. ஆனால் துரதிருஷ்டவசமாய் எல்லா இலக்குகளும் இந்த டிரான்ஸ்பான்டர் பொறியமைவைத் தாங்கிச் செல்லவில்லை. பகை இலக்குகள் இதனைத் தாங்கிச் செல்கிறவை அல்ல.

இப்போது நடப்பில் உள்ள ரேடார்ச் செயல் முறைகளை அன்னியில், தன்மானமுள்ள ரேடார் திட்ட புனைவாளர் ஒவ்வொருவரும் தமக்குரிய புதிய முறைகளைப் புகுத்த ஆவல் மிக்கோராய் இருக்கிறார். ஆகவே எல்லாச் செயல் முறைகளையும் இங்கே நாம் விவரிக்க முடியாது. இந்த முடிவுரையுடன் நாம் இந்த விவகாரத்தை ஒதுக்கி வைத்துவிட்டு அடுத்த அத்தியாயத்துக்குப் போகலாம்.

இயற்கை ரேடார் பொறி

ரேடாரானது அதற்குரிய பணியைச் செய்ய வேண்டுமாயின், அது பயன்படுத்தும் சைகை எப்படிப்பட்டதாய் இருக்க வேண்டும் என்பது குறித்து இப்போது நாம் ஓரளவு தெரிந்து கொண்டு விட்டோம். நுகர்வாளர் முழு மனநிறைவு கொள்ளலாம்—அவருடைய தேவைகளைப் பூர்த்தி செய்ய நாம் முடிந்தது அனைத்தும் செய்துள்ளோம்.

புதிதாக அமைக்கப்பட்ட ஒரு ரேடாரானது அதற்குத் திட்டம் புனைந்தோர் எதிர்பார்த்த அளவுக்குச் சிறப்பாகச் செயல்படுவதில்லை என்பதை முதற்கண் குறிப்பிட வேண்டும். உறுப்புகளிலும்

ஒட்டுமொத்தமாய் ரேடார் சாதனம் அனைத்திலும் உள்ள குற்றங்குறைகளைக் களைந்த பிறகே இச்சாதனம் அதற்கு வகுக்கப்பட்ட குறிக்கோளை நிறைவேற்றுவதை நோக்கி முன்னேற முடிகிறது. நாளடைவில் அது அந்தக் குறிக்கோளையும் மிஞ்சிச் செல்ல முற்படுகிறது. ஏனெனில் விஞ்ஞானமும் தொழில்நுட்பமும் இடையறாது தொடர்ந்து முன்னேறிச் செல்கின்றன. ஒரு ரேடார் சாதனம் தயாரித்து முடிக்கப்பட்டுப் பயன்பட ஆரம்பிப்பதற்குள், ஆய்வு, வளர்ச்சித் துறை நிபுணர்கள் அதனிலும் சிறப்பான, அடக்கமான, உயர் வகை சாதனத்துக்கான திட்டத்தைப் புனைந்து விடுகிறார்கள். இறுதியில் எந்த அளவுக்கு ரேடார் சாதனத்தை மேம்படுத்திச் செல்ல முடியும் என்பதனை பின்வரும் உதாரணத்திலிருந்து தெரிந்து கொள்ளலாம்.

ஒலி மூலம் இடமறிவதற்கு வௌவால்களிடமுள்ள இயற்கைப் பொறியின் ஆற்றலுடன் அமெரிக்க ஐக்கிய நாட்டில் விஞ்ஞானிகள் நமது மிகச் சிறந்த ரேடார்களின் ஆற்றலை ஒப்பிட்டுப் பார்த்துள்ளனர். வௌவாலின் இடமறி ஒலியமைவானது எடையில் ஒரு கிராமில் ஒரு சிறு பகுதியே உள்ளது, ஒரு கன சென்டிமீட்டர் பரிமாணத்துக்குள் அடங்கி விடுகிறது. ஆயினும் அது நூறு கிலோ எடையும் பலநூறு கன டெசிமீட்டர் பரிமாணமும் உள்ள ரேடார் சாதனத்துக்குரிய பணியைத் திறம்பட செய்கிறது.

ஆராய்ச்சி முடிவுகள் தெரியப்படுத்தும் விவரங்களாவன:—

1. இரைச்சலைக் காட்டிலும் அதிக வலுவில்லாத சைகைகளை வௌவால்கள் கண்டறிந்து கொள்ள முடிகிறது, ஆனால் நமது ரேடார்களுக்கு எதிரடிப்புச் சைகைகள் இரைச்சலைக் காட்டிலும் கூடுதலான வலுவுடையனவாய் இருப்பது அவசியமாகும்.

2. எதிரடிக்கும் இலக்குகளின் குறிதூரத்தையும் அவற்றின் இடநிலைகளைக் காட்டும் கோண அளவுகளையும் தற்கால ரேடார்களைக் காட்டிலும் வௌவால்களால் மிக உயர்ந்த துல்லிதத்துடன் அளக்க முடிகிறது.

3. கொசுவை வேட்டையாடும் வௌவால்கள் ''தூய விரட்டுப் பாதை'' (pure pursuit course) என்பதான பாதையில் (வேட்டைநாய்-முயல் பாதை என்பதாகவும் இது சில சமயம் அழைக்கப்படுகிறது) பறக்கின்றன. அதாவது தரை-ஆகாய ஏவுகணைகளுக்கும் குறுக்கிட்டுப் போர் விமானங்களுக்கும் அவற்றின் கணிப்புப் பொறிகள் கணித்துத் தரும் உத்தமப் பறத்தல் பாதையில் (optimum flight path) அவை செல்கின்றன. வௌவால்களிடம் உள்ள இயற்கைக் கணிப்புப் பொறிகள் மனிதனால் செய்யப்பட்டிருக்கும் நவீனக் கணிப்புப் பொறிகளுக்கு எவ்விதத்திலும் சப்பையில்லாத முறையில் செயல்படுகிறவை என்பது தெரிகிறது. 15 நிமிடங்களில் வௌவாலால் 175 கொசுக்களைப் பிடிக்க முடிகிறது, அதாவது 6 வினாடிக்கு ஒரு கொசு வீதம் அதனால் பிடிக்க முடிகிறது. வௌவாலின் கணிப்புப் பொறி எவ்வளவு வியக்கத் தக்கது என்

பதை இதிலிருந்து தெரிந்து கொள்ளலாம். ஒரே விஞடியில் வெளவால் இரண்டு கொசுக்களைப் பிடித்த சந்தர்ப்பங்களும் பதிவு செய்யப்பட்டிருக்கின்றன. போர் விமானக் கண்காணிப்பு ரேடார் பொருமைப் படத் தக்க செயல் திறனுகும் இது.

4. குகைகளில் வசிக்கும் வெளவால்கள் தமது இடமறிச் சாதனங்களைக் கொண்டு பாதை தெரிந்து பறக்கின்றன. மிகப் பல வெளவால்கள் ஒரே நேரத்தில் தமது ''ஆய்வு ஒலியலைகளை'' அனுப்புகின்றன. ஆனுல் இவை ஒன்றையொன்று குறுக்கிடுவதாகத் தெரியவில்லை. ஒரு வெளவால் பிறிதொன்றின் ஒலியலைக்கோ,பிற குறுக்கீட்டுக்கோ செவிமடுப்பதில்லை. இன்றைய ரேடார்களுக்கு இல்லாத சிறப்பு இது. அருகாமையில் அமைந்த ரேடார்கள் ஒன்றுக்கொன்று பெருந் தொல்லையாகி விடுகின்றன. குறுக்கீட்டைக் கட்டுப்படுத்துவது ரேடார் நிபுணர்களுக்கு இன்னமும் பெரும் பிரச்சினையாகவே இருந்து வருகிறது. இராணுவத் துறையில் பலத்த இரைச்சலை அனுப்பிப் பகைவர்கள் ஒருவர் மற்றவரது ரேடாரின் செயற்பாட்டைக் குலைக்கிருர்கள். ஆனுல் வலுவான மீயொலி (ultrasonic) இரைச்சலால் வெளவால்களது இயற்கையான இடமறிப் பொறிகளின் செயற்பாடு குலைக்கப்படுவதில்லை என்பதை ஆய்வகச் சோதனைகள் தெரியப்படுத்துகின்றன.

5. வெளவால்களால் உண்டாக்கப்படும் சைகை அலைகளின் திறன் ஒரு கிலோகிராம் வெளவால் எடைக்கு 0,11 வாட்டு (அதாவது 0.11 வாட்டு /கி. கிராம்) கொண்டதாயும், ஒரு கன டெசிமீட்டர்

வௌவால் கொள்ளளவிற்கு 0.03 வாட்டு (அதாவது 0.03 வாட்டு/கன டெசிமீட்டர்) கொண்டதாயும் உள்ளது. அதே போன்ற ஒரு ரேடாருக்கு, சைகை அலையின் திறன் 0.2 லிருந்து 1.0 வாட்டு கி. கிராம் ஆகவும், 0.2லிருந்து 0.5 வாட்டு/கன டெசிமீட்டர் ஆகவும் உள்ளது. இந்த ஒரு வகையில்தான் மனிதனது ரேடார்கள் வௌவால்களது இயற்கைப் பொறிகளை விஞ்சுகின்றன. ஆனால் இது ஒரு அற்ப ஆறுதல் தான். வௌவால் தன் சக்தியில் ஒரு பகுதியினைப் பறப்பதற்கும், மற்றொரு பகுதியினைத் தன்னுடைய உள் உறுப்புக்களின் இயக்கத்திற்கும் செலவழித்தது போக, எஞ்சுவதைத் தன்னுடைய இடமறிப் பொறிக்காகப் பயன்படுத்துகின்றது. ஆனால் ரேடாரானது அதன் சக்தி முழுவதுமே இலக்கினைக் கண்டறிவதற்குப் பயன்படுத்திக் கொள்கிறது. ஆகவே இங்கு நாம் செய்த ஒப்பீடு அவ்வளவு நேரான்மையானதல்ல. இங்கும் இயற்கையின் படைப்பான இடமறிப் பொறி மனிதனது படைப்பைக் காட்டிலும் சிறப்பானதாகவே இருக்கிறது.

6. ஏராளமான கொசுக்களைக் கண்டறிந்து விரட்டிச் செல்லும் வௌவால் மிகப் பெருமளவிலான தகவல்களைச் சேகரித்து ஒழுங்குபடுத்தி வகை செய்ய வேண்டியிருக்கிறது. விமான நிலையக் கண்காணிப்பு ரேடாரின் செயல் திறனுக்கு ஒப்பானதாகும் இது. ஆனால் கிராமில் ஒரு சிறு பகுதி எடையும் கன சென்டிமீட்டரில் ஒரு சிறு அளவு பரிமாணமும் உள்ள பொறியைக் கொண்டு வௌவால் இத்தனை வேலைகளையும் சமாளித்து விடுகிறது. விமான நிலையக் கண்

காணிப்பு ரேடாருக்கு பல நூறு கிலோ எடையும் பல கன மீட்டர் பரிமாணமும் கொண்ட சாதனங்கள் தேவைப்படுகின்றன.

வெளவாலானது அதன் பறத்தலின் பல்வேறு கட்டங்களிலும், அதாவது துவக்கக் கட்டம் அல்லது கொசுவைத் தேடும் கட்டத்திலும், இடைநிலைக் கட்டம் அல்லது கொசுவைக் கண்டறியும் கட்டத்திலும், இறுதிக் கட்டம் அல்லது கொசுவைப் பிடிக்கும் கட்டத்திலும் உபயோகிக்கும் சைகைகளை மாசச்சுஸெட்ஸ் தொழில்நுட்பக் கல்லூரியின் அமெரிக்க விஞ்ஞானிகள் ஆராய்ந்துள்ளனர். கட்டத்துக் கட்டம் வெளவாலின் மீயொலிச் சைகையானது வெகுவாய் மாற்றமடையக் கண்டனர். சைகையின் நீளம் (அதாவது ஒரு அலைவில் அலையானது செல்லும் தூரம்) வெளவாலுக்கு 3.4 மிலிமீட்டராகவும், இதற்கு ஒத்த ரேடாருக்கு 30 மிலிமீட்டராகவும் இருக்கக் கண்டனர். முக்கியமானது என்னவெனில் வெளவால்களைப் பொறுத்த மட்டில் ஒரே சைகையில், அலைநீளம் 3.4 மிலிமீட்டரிலிருந்து 7 மிலிமீட்டர் வரை மாறக் கூடியதாக உள்ளது. மனிதனுல் படைக்கப்படும் எந்த ரேடாராலும் இதைச் செய்ய முடியாது! வெளவாலின் இடமறிப் பொறியினது மிதமிஞ்சிய செயல் திறனின் இரகசியம் இதில் தான் அடங்கியிருப்பதாகக் கருதுவதற்கு இடம் உண்டு.

ஒருவகை வெளவால் அதிர்வெண்ணுக்கு ஏற்றாற்போல பல்வேறு திசைகளில் சைகை அலைகளை அனுப்பக் கூடிய, தேர்ந்தெடுப்பு எதிரடிப்பானை

(selective reflector) போன்ற காது அமைப்பினைக் கொண்டுள்ளது. வௌவாலானது ஒரு வரையறைக்குள் மாறக் கூடிய அதிர்வெண்ணைக் கொண்ட சைகை அலையினை உற்பத்தி செய்கிறது. திசையைக் கண்டறிவதற்காக இந்தத் தத்துவத்தைப் பயன்படுத்தித் தக்க அமைப்புகளை (அதாவது விரவு-அதிர்வெண் சைகையையும் தேர்ந்தெடுப்பு அலைவீச்சு ஆற்றலுடைய ஏரியல்களையும் கொண்ட அமைப்புகளை) நிறுவலாமென்ற கருத்து அண்மையில் முன்வைக்கப்படிருக்கிறது.

வௌவால் இடமறிப் பொறிகளை ஒத்த செயற்கைப் பொறிகளை அமைக்க முயற்சிகள் செய்யப்பட்டுள்ளன. பிரிட்டனில் குருடர்களுக்குப் பயன்படும் வகையில் சிறிய அளவில் ஒலி இடமறிப் பொறிகளை உருவாக்கியுள்ளனர். ஒலி வெவ்வேறு பொருளிலிருந்து, அவைகளின் தூரம், வடிவம், மேற்பரப்பு போன்றவற்றைப் பொறுத்து வெவ்வேறு விதமாக எதிரடிக்கப்படுகின்றது. இதைப் பயன்படுத்தச் சிறிது பழகிக் கொண்டதும், பொருளின் தூரம், மேற் பரப்பு வழவழப்பானதா, சொரசொரப்பானதா என்று அதைக் கொண்டு கூறிவிடலாம். வௌவால்களின் இயற்கைப் பொறியினது தத்துவத்தின் அடிப்படையில் இது செயல்படுகின்றது.

வௌவாலின் இடமறிப் பொறியானது வௌவாலைப் பெரிய இலக்குகளின் மீது முட்டி மோதிக் கொள்ளாமல் தடுப்பதுடன், தப்பிச் செல்ல முயலும் பூச்சிகளைக் கண்டறிந்து பிடிப்பதற்கும் அதற்கு உதவுகின்றது. நிலையான தடைகளையும் நகரும் இலக்கு

களையும்—வெளவாலுடன் ஒப்பிடுகையில் இரு வகைப் பொருள்களும் தொடர்ந்து நகர்ந்தாலும்—இனங் கண்டு கொள்ள இது துணை புரிகிறது. ஒரு வகை வெளவாலானது சிறிய மீன்களையும் வேட்டையாடுகின்றது. தண்ணீருக்கு வெளியே மீன்களின் துடிப்புக்கள் மட்டும் தோன்றினுலே போதும், உடனே வெளவால் அவற்றைக் கண்டு பிடித்து விடுகிறது. மீனின் துடுப்பினைப் போலவே ஓர் இலக்கு இருந்தாலுங்கூட, அந்த இலக்கினை மீனிலிருந்து வேறு படுத்தி இந்த வெளவால் உணர்ந்து கொள்கிறது. அதாவது எதிரடிக்கும் ஒலியின் தன்மையினைக் கொண்டே இலக்குகளை அடையாளங் கண்டுபிடித்து விடக் கூடிய ஆற்றலினை அது பெற்றுள்ளது. இப்படிக் கண்டறிதல், ரேடார் நிபுணர்களின் கருத்துக்குரிய ஒரு முக்கிய பிரச்சினையாகும்.

ஆக, இயற்கையால் படைத்தமைக்கப்பட்டிருக்கும் சாதனங்களது பயன்திறனை நமது செயற்கைச் சாதனங்கள் நெருங்கி வருவதற்கு ரேடார் திட்டம் புனை நிபுணர்கள் இன்னும் நெடுந் தூரம் முன்னேறிச் சென்ருக வேண்டும் என்பது விளங்குகிறது.

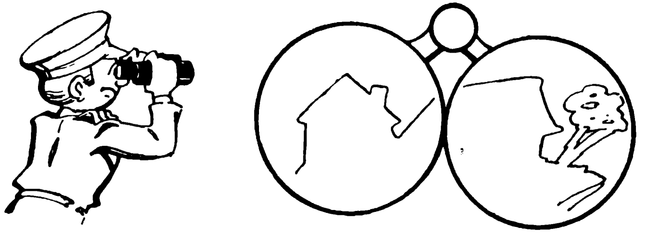
இலக்கின் ஏய்ப்பு முறை

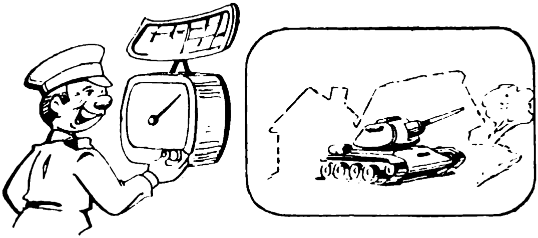
இராணுவத் துறையில் ரேடாரின் பணி மகத்தானது என்பதை ஏற்கெனவே கண்ணுற்ருேம். மண்ணிலிருந்தாலும், விண்ணிலிருந்தாலும், நீரில் இருந்தாலும் இலக்கினை ரேடாரானது கண்டறிந்து அதை



இனங் காட்டுகிறது. ரேடார் தெரிவிக்கும் விவரங்களிலிருந்து ஓர் இலக்கு நாட்டுப் பாதுகாப்பிற்கு அபாயம் விளைவிக்கக் கூடியதா, இல்லையா என்பதனை இராணுவத்தினர் தெரிந்து ஆவன செய்கிறார்கள். குறுக்கீட்டு விமானங்களுக்கு வழிகாட்டுவதற்கும் ஏவுகணைகளை நெறிப்படுத்தித் தக்க பாதையில் செலுத்துவதற்கும் இவர்கள் ரேடாரைப் பயன்படுத்துகிறார்கள்.

அந்தந்தத் தரப்பும் தனது படைக் கலன்களையும் அமைப்புகளையும் எதிரி கண்டுபிடித்து அழித்து விடாதபடித் தடுப்பதற்குத் தன்னால் இயன்றது அனைத்தும் செய்கிறது. ரேடாரிலிருந்து மறைவதற்





கான, அல்லது ரேடாரை ஏய்ப்பதற்கான பல முறை களையும் கையாளுகிறது.

தொன்னெடுங் காலம் முதற்கொண்டே மனிதன் தன்னை மறைத்துக் கொள்ளப் பல வழிகளையும் கையாண்டு வந்துள்ளான். காட்டில் வேட்டையாடும் வேடன் வேட்டைக்குரிய மிருகத்தின் கண்ணில் படாமல் அதை நெருங்கிச் செல்வதற்காக, மரங்களிலிருந்து தன்னை மிருகம் வேறுபடுத்துவது கடினமாகி விடும் பொருட்டு பார்வைக்குத் தன்னை மரம் போலச் காட்டிக் கொள்ள முயலுகிறான். இதே போல மிருகங்களும் தம்மை மறைத்துச் கொள்ளப் பல வழிகளையும் அனுசரிக்கின்றன. சில பிராணிகள் தம்மைச் சுற்றுச் சார்புடன் ஒன்று கலந்து விடும்படிச் செய்வதற்கான நிலைகளுக்கு ஏற்ப தமது நிறத்தை மாற்றிக் கொண்டு விடுகின்றன.

படையாட்கள் தம்மை மறைத்துக் கொள்ள உருமாற்று முறைகளைக் கையாளுகின்றனர். காப்பு நிறம் பூசப்பட்ட சீருடைகள் அணிந்து கொள்வதும், வாகனங்கள், கருவிகள் மீது உரு மறைப்பு வலைகளைப் போர்த்துவதும் எல்லா நாடுகளின் படைத் துறை

யினரும் வெகுவாகக் கையாளும் ஏய்ப்பு முறைகளா கும். ஆனுல் இவற்றின் மூலம் ஒளியியல் பார்வையி லிருந்து மட்டும்தான், அதாவது வெறும் கண் அல் லது பைனுக்குலர் பார்வையிலிருந்து மட்டும்தான் தப்பலாம். எந்த விதமான காப்பு வண்ணப் பூச்சும் மறைப்பு வலையும் மரக் கிளைகளும் தழையும் டாங்கி யையோ படையாள் லாரியையோ ரேடாரின் பார் வையிலிருந்து மறைத்துவிட முடியாது. பறந்து செல் லும் விமானத்தையும் ஏவுகணையையும் சாதாரண உரு மறைப்பு முறைகளைக் கொண்டு மறைப்பது இயலாத காரியம். ஆகவே ரேடாரை ஏய்ப்பதற் கான தனி முறைகள் தேவைப்படுகின்றன.

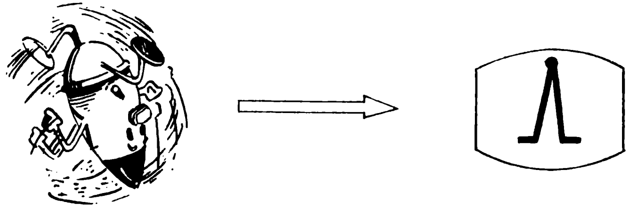
எடுத்துக் காட்டாய், எறிவிசை ஏவுகணையின் வெடி முனைகளை (war-heads) ரேடாரிடமிருந்து மறைப்பதற்காகக் கையாளப்படும் ஏமாற்று முறை களைப் பரிசீலிப்போம். வெடிமுனைகளால் எதிரடிக் கப்படும் ரேடார் சைகை அலைகளை வலுவற்றவை ஆக்கத் தக்க வடிவத்தில் இந்த வெடிமுனைகளை அமைத்திடுவது முதலாவது முறையாகும். இந்த



வடிவம் உருவரையில் திடீர் மாற்றங்களை உண்டாக்காதாகவும், பார்வைத் திசைக்குச் செங்கோணங்களில் அமைந்த தட்டைப் பரப்போ, உருளைப் பரப்போ இல்லாததாகவும் அமைய வேண்டும் என்று ஆராய்ச்சிகளின் வாயிலாகத் தெளிவுபடுத்தப்பட்டிருக்கிறது. ஒடுக்கமான கூம்பு வடிவத்தில் அமைத்து, கூம்பு முனையானது பார்வையாளரை நோக்கும்படிச் செய்து, அடிப் பகுதியை உருளை வடிவில் அமைப்பதுதான் யாவற்றிலும் சிறந்த ஏற்பாடாகும். இந்த வடிவில் அமைந்த வெடிமுனையுங்கூட பறத்தலின் போது அமைதியற்றதாக இருக்குமாயின், அதாவது கரணமடித்துத் தடுமாறுமாயின், அதிலிருந்து வலுக் குறைந்த எதிரடிப்பு ஏற்படவே செய்கிறது. கரணமடித்துக் குலுங்கிச் செல்லும் வெடிமுனையானது எல்லாத் திசைகளிலிருந்தும் தனது உருவினைப் பார்வையாளனுக்குக் காட்டிக் கொள்கிறது, சில திசைகளிலிருந்தான பார்வையில் அதன் எதிரடிப்பு வலிமை மிக்கதாகி விடக் கூடும். எனவேதான் எறிவிசை ஏவுகணைகளின் வெடிமுனைகள் பறத்தலின் போது அசங்காதபடி நிலையுறுதி செய்யப்பட்டு, அவற்றின் எதிரடிப்பு பல நூற்றில் ஒரு பங்காகக் குறைக்கப்படும்படித் திசையமைவு செய்யப்படுகின்றன. இப்படிச் செய்ததும், ரேடார்களால் நம்பகமான முறையில் இலக்குக் கண்டறியப்பட்டு நிலைநாட்டப்படுவதற்குரிய தொலைவு வெகுவாய்க் குறைந்து போய் விடுகிறது; தாக்கப்படும் தரப்பினர் தமது தற்காப்புத் துறையினரை எச்சரித்துத் தயார் செய்வதற்குள்ள அவகாசமும் பெரிதும் குன்றிவிடுகிறது.

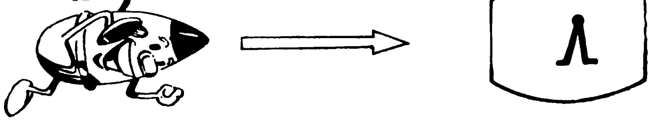
ரேடியோ அதிர்வுகளின் ஆற்றலை உடனே உட் கவர்ந்து கொண்டு விடும் இயல்புடைய கலவைகளைக் கொண்டு பூச்சிடுவது இலக்கின் எதிரடிப்பை மட்டுப் படுத்துவதற்கான மற்றொரு வழியாகும். இந்த ரேடார் தடுப்பு வண்ணப் பூச்சுகளைத் தயாரிப்பதில் ஒவ்வொரு நாடும் முக்கிய கவனம் செலுத்துகிறது. 6 முதல் 12 மிலிமீட்டர் தடிமனுக்கு இம்மாதிரிக் கலவைகளைக் கொண்டு பூச்சிடும் போது எதிரடிப் பானது 20 முதல் 1000 மடங்கு வரை குறைக்கப் கப்படுகிறது. இந்தக் காப்புப் பூச்சு இப்பிரச்சினைக் குத் தக்க தீர்வாகி விடும் என்பதாக நினைக்கத் தோன்றும். ஆனால் இது உண்மையன்று. இந்தக் காப்புப் பூச்சு மிகுந்த எடையுடையதாகி விடுகிறது —ஒரு சதுர மீட்டர் பரப்பிலான பூச்சு 5 முதல் 6 கிலோ எடையுடையதாகும். வெடிமுனையின் எடையை இந்த அளவுக்குக் குறைக்க வேண்டியதாகிறது. தவிரவும் ஓர் அதிர்வெண்ணுக்கோ, அதிர்வெண் பட்டைக்கோ பயனுடையதாக அமையும் ரேடார் தடுப்பு வண்ணப் பூச்சு பிற அதிர்வெண்களுக்கு வழக் கமாகப் பயனுடையதாய் இருப்பதில்லை. எனினும் இந்தப் பூச்சுகள் குறித்து தொடர்ந்து ஆராய்ச்சி கள் நடத்தப்பட்டுப் புது முறைகள் வகுக்கப்பட்டு வருகின்றன.

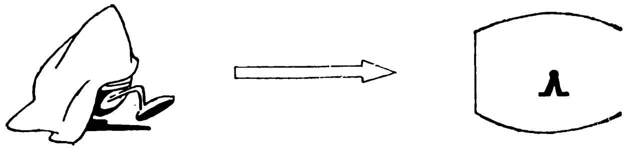
இராணுவக் கலையின் பிற துறைகளில் எப்படி யோ அதே போல ரேடார் துறையிலும் தாக்கு வோருக்கும் தற்காத்துக்கொள்வோருக்கும் இடையே ஓயாத போட்டா போட்டி நடைபெற்று வருகிறது. தாக்குதலுக்குத் தயாரிப்பவர் மேலும் மேலும்



வலுக் குன்றிய எதிரடிப்பை அளிக்கும் வெடிமுனையை உருவாக்க, தற்காப்புக்கு ஏற்பாடு செய்வோர் இந்த வெடிமுனை மீது மேலும் மேலும் வலுவான சைகையைப் பாய்ச்சக் கூடியதாகவோ, மேலும் மேலும் வலுக் குன்றிய எதிரடிப்பைக் கண்டறிய வல்லதாகவோ அமைந்த ரேடாரை உருவாக்கிப் பதிலளிக்கின்றார்.

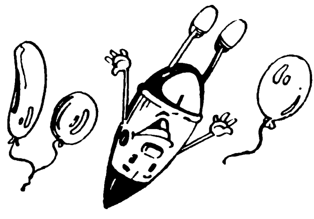
ஆனால் ரேடாரிடமிருந்து மறைவதற்காகவும் தப்பிச் செல்வதற்காகவும் வேறு சில தந்திர முறைகளும் கையாளப்படுகின்றன. இங்கு ரேடாரின் சைகையினுடைய துடிப்பின் வலுவை எவ்வளவு அதிகமாக்கியும் பயனில்லை. உதாரணமாய், குழப்படி செய்யும் கந்தல்கூளம் (chaff) என்பதையும், மருட்சி உண்டாக்கும் போலிகளை (decoys) உபயோகிக்கும் முறையையும் குறிப்பிடலாம். கந்தல்கூளம் என்பது ரேடாரைக் குழப்படிக்கும் எதிரடிப்பான்

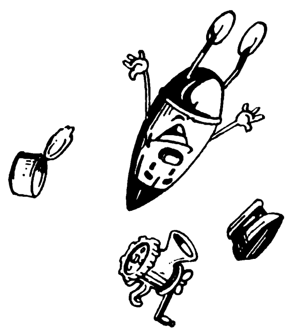


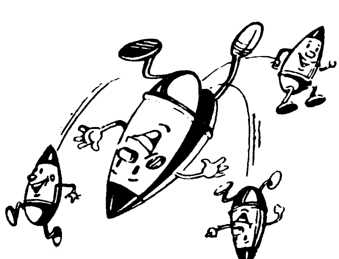


களைக் குறிக்கும் பொதுப் பெயராகும். போலி என்பது ரேடாரை ஏய்ப்பதற்காகப் பயன்படுத்தப்படும் எதிரடிப்புக் கலனுகும், இது மெய்யான இலக்குக்குரிய எதிரடிப்பு இயல்புகளைக் கொண்டது. மெய்யான வெடிமுனைக்கு அருகே இந்தப் போலிகள் வெளியே விடப்படுகின்றன. இவற்றிலுள்ள எதிரடிப்பான்கள் மிகப் பல ஒளிப் புள்ளிகளை ரேடார் திரையில் உண்டாக்கி எதிரியைத் திண்டாட வைக்கின்றன. இந்தப் புள்ளிகளில் எது மெய்யான இலக்கைக் குறிப்பது என்பதை அறிவது கடினமாகி விடுகிறது. எப்படியும் எதிரி இதைக் கண்டுபிடிக்க நேரம் செலவிட்டுக் காலதாமதம் செய்ய வேண்டியதாகிறது—இதுவேதான் தாக்குகிற தரப்பினரது நோக்கமும்.

செலுத்தப்படுகின்ற . சைகை அலையின் சக்தியினை அதிகமாக்கிப் பயனில்லை, கந்தல் கூளத்தையும் இலக்குப் போலிகளையும் சமாளிக்க இவ்வழி உதவுவதில்லை. காரணம் என்ன? செலுத்தப்படுகின்ற சைகை அலை உண்மையான இலக்குகளின் மீது மட்டும் பட்டு எதிரடிக்கப்படவில்லை; போலிகள் மீதும் பட்டு எதிரடிக்கப்படுகிறது; சைகை அலையின் சக்தியினை அதிகமாவதற்கு ஏற்ப உண்மை இலக்கு, போலி இவை இரண்டில் இருந்தும் கிடைக்







கும் எதிரடிப்புகளும் வலுவில் ஒத்த அளவுக்கு அதிகமாகிவிடுகிறது. ஆகவே குறுக்கீடு எப்போதும் போல் கடுமையாகவே இருக்கிறது.

ஏவுகணையின் பறத்தல் பாதையின் பல கட்டங்களிலும் வெவ்வேறு வகையான போலிகளும் உபயோகிக்கப்படுகின்றன. நடுக் கட்டத்தில் ஏவுகணையானது வளி மண்டலத்துக்கு அப்பால் சென்று வருவதால் இக்கட்டத்தில் காற்று எதிர்ப்பு விசை அனேகமாய் இல்லை. இங்கே உபயோகிக்கப்படும் போலிகள் எடை குறைவான உலோக எதிரடிப்பான்களாகவோ, உலோகமயமாக்கப்பட்ட ஊதிப் பெரிதாக்கப்படக் கூடிய பலூன்களாகவோ இருக்கும். ஏவுகணை வெடிமுனையின் எதிரடிப்பு இயல்புகளை அப்படியே வெளிக்காட்டும்படியான வடிவிலும் பருமனிலும் இந்தப் பலூன்களும் அமைந்துள்ளன. வெற்றிடத்தில் எல்லாக் கலன்களுமே—அவை எடையுள்ளனவாயினும் இலேசானவையாயினும் ஒரே மாதிரியே செல்லுமாதலால், ரேடார் இயக்குநர் ஒரே மாதிரி சென்று ஒத்த வலுவிலான எதிரடிப்புகளை உண்டாக்கும் பல இலக்குகள் இயங்குவதைத் தவிர்க்க முடியாதபடி காண்பார்.

பாதையின் இறுதிக் கட்டத்தில் வெடிமுனையும் அதனுடன் வரும் இலேசான எதிரடிப்பான்களும் அடர்த்தியான வளி மண்டலத்துள் புகும் போது, இலேசான எதிரடிப்பான்கள் பின்தங்கி விடுகின்றன. இனி இவற்றால் கனத்த வெடிமுனையை முன்பு போல் மறைத்திட முடியாமற் போகிறது. எனவே காற்று மண்டலத்தில் வெடிமுனையைப் போல் அதே வேகத்

தில் பறந்து செல்லக் கூடிய கனமான போலிகளைப் பயன்படுத்துவதுதான் சிறந்த வழி. ஆனால் துரதிருஷ்டவசமாக, வெடிமுனையாயினும் சரி, போலியாயினும் சரி ஒரு கிலோ எடையைப் பறத்தல் பாதையில் செலுத்த அதே அளவு செலவுதான் ஆகிறது.

ஆகவே கனமுள்ள போலிகளை எல்லாச் சந்தர்ப்பங்களிலும் பயன்படுத்த முடிவதில்லை. வெடிமுனையை அனுப்பிப் பல வெடிமுனைகளாய் அது பிளவுற்று ஒவ்வொரு வெடிமுனையும் வெவ்வேறு திசைகளில் செல்லும்படி விடுவது சில நேரங்களில் லாபகரமாய் இருக்கும். ஒரே நேரத்தில் பல முயல்களை விரட்டிச் செல்ல வேண்டிய வேடரின் நிலையில் பாதுகாப்பாளர் இப்போது தாம் இருக்கக் காண்பார்.

தாக்குகின்றவர், தக்க வடிவங்களில் அமைந்த வெடிமுனைகளுக்கு ரேடார் காப்பு வண்ணப் பூச்சிட்டுச் செலுத்துவதன் மூலம் பாதுகாப்பவரது ரேடாரால் இவை கண்டறியப்படுவதைத் தடுக்க முயலுகிறார். பாதுகாப்பவர் தாம் தாக்குதலுக்கு உள்ளாகியிருப்பதைக் கண்டு கொள்ளும் நேரத்தை முடியுமான அளவுக்கு ஒத்திப் போட்டுத் தாமதப்படுத்துவதே தாக்குகிறவரின் நோக்கம். ஆனால் போலிகளோ, கந்தல்கூளமோ பயன்படுத்தப்படுகையில் நிலைமை தலைகீழாய் மாற்றப்பட்டு விடுகிறது. தாக்குகிறவர் தாம் தொடுக்கும் தாக்குதலை இப்போது மூடிமறைக்க முயலவில்லை. ஒரு வெடிமுனைக்குப் பதில் பலவாக பிளவுண்டு விடும் வெடிமுனையைச் சுலபமாகவே கண்டறிந்து கொண்டுவிட முடியும். பாதுகாப்பவர் தாக்குதல் தொடுக்கப்படுவதைச்

சீக்கிரமாகவே தெரிந்து கொண்டு விடுகிருர். ஆனல் இப்போது எவ்விதத்திலும் தொல்லேயில் குறைவில்லாத புதிய பிரச்சினே அவர் முன் எழுகிறது. இலக்குகளில் எது உண்மையில் அபாயம் உண்டாக்கும் இலக்கு என்பதைக் கண்டுபிடித்துத் தாமதமின்றி அதை அழித்திடுவதே அந்தப் பிரச்சினே. ஒரு சில நிமிடங்களில் அவர் முடிவு செய்து இதைச் செய்தாக வேண்டும்.

ஐந்திலிருந்து பத்துக்கு மேற்படாத இலக்கு எதிரடிப்புகளேயே ரேடார் காட்டுகிறது என்ருல் இந்தப் பிரச்சினையைச் சமாளித்து விடலாம். அதற்கு மேற்பட்ட எதிரடிப்புகள் வந்து சேரும் போது, கண்சிமிட்டும் பெருத் திரளான புள்ளிகளில் எது மெய்யான வெடிமுனேயைக் குறிப்பதாகும் என்று கண்டறிவது நவீனக் கணிப்புப் பொறிக்குங்கூட முடியாத காரியம். ஒரே நேரத்தில் குறிப்பிட்ட எண்ணிக்கையிலான இலக்குகளேக் கவனித்து முடிவெடுப்பதற்கான ஏற்பாடுகளேயே வழக்கமாய் எந்த ஒரு ரேடாரும் பெற்றிருக்கிறது. இலக்குகள் இந்த எண்ணிக்கைக்கு அதிகமாகி விடும் போது வேலே வரம்பு மீறி விடுவதால், இலக்குகளில் சிலவற்றை ரேடார் கவனியாது விட்டுவிடுகிறது. தாக்குகிறவர் போலி வெடிமுனேகளே உபயோகிப்பதன் நோக்கம் இதுவேதான். கவனியாது விடப்படும் இலக்குகளில் மெய்யான வெடிமுனே இருக்கக் கூடும். இப்போது அது கண்டறியப்படாமலே காப்பு அரணேக் கடந்து உள்ளே நுழைந்து விடக் கூடும்.

தற்கால ரேடார்களின் பயன்திறன் பெருமளவுக்கு அவற்றின் கணிப்புப் பொறிகளது செயல் வேகத்தையும் நினைவு ஆற்றலையுமே பொறுத்துள்ளது. இந்தக் கணிப்புப் பொறிகள்தான் வந்து சேரும் எதிரடிப்புச் சைகைகளைப் பரிசீலித்து வகைப்படுத்தி எவை போலி இலக்குகளுக்கு உரியவை, எவை மெய்யான இலக்குகளுக்கு உரியவை என்று பிரித்திடுகின்றன. ஏவுகணை எதிர்ப்புக் காப்பு அணியை மேலும் பலப்படுத்துவதானது ரேடார் சாதனங்களில் மட்டுமின்றி, அவற்றின் கணிப்புப் பொறிகளிலும் செய்யப்படும் மேம்பாடுகளையே பொறுத்திருக்குமென நிபுணர்கள் கூறுகின்றனர்.

பாதுகாத்துக் கொள்கிறவரது ரேடாரின் பயன் திறனைக் குறைப்பதற்குத் தாக்குகிறவர் வேறு சில வழிகளையும் கையாளலாம். குளறுபடி அலைகளை அனுப்பும் எலெக்ட்ரானிக் அமைப்புகளைக் கொண்ட கலன்களைச் செலுத்துவது இந்த வழிகளில் ஒன்றாகும். இந்த எலக்ட்ரானிக் அமைப்புகள் வேண்டாத சைகைகளை எதிர்தரப்பு ரேடாருக்கு அனுப்பிக் குளறுபடி செய்கின்றன. தாக்கும் பகைவன் திட்டமிட்டுச் செய்யும் இந்தக் குளறுபடிக்கு இடையே பாதுகாப்பு ரேடார் தன்னை நெருங்கும் இலக்கினைக் கண்டறிய முடியாமற் போய்விடுகிறது. ரேடார் பயன்படுத்தும் சைகையின் அதிர்வெண் எதிர்த் தரப்புக்குத் தெரியாதபடி இரகசியமாக வைத்துக் கொள்ளப்படுவதற்கு இதுவேதான் காரணம். இரு தரப்பாரும் தத்தமது எதிர்த் தரப்பினரது ரேடா

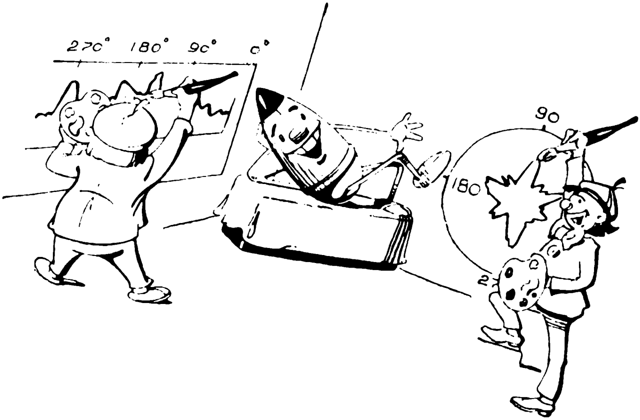
ரின் அதிர்வேண்ணை உத்தேசமாகவேனும் கணித்து அறிய இயன்றது அனைத்தும் செய்கின்றனர்.

ஏவுகணைகளை ரேடாரிலிருந்து மறைப்பதற்கான தந்திர முறைகளில் ஒரு சிலவற்றை மட்டுமே இங்கு நாம் விவாதித்தோம். இவையன்றி ஏராளமான பலவும் உள்ளன. ஒரு சிறு புத்தகத்தில் யாவற்றையும் எடுத்துரைப்பது முடியாத காரியம்.

இலக்குகளை அடையாளம் அறிதல்

ரேடாரிடமிருந்து மறைவதற்கான வழிகளை மேலே நாம் ஆழ மனதிற் பதியும்படி கூற முயன்றோம். அதைப் படித்த பின், ரேடாரைக் கொண்டு இலக்குகளைக் கவனித்துப் பயன் ஏதும் இல்லை என்று வாசகர் முடிவு கட்டி விடக் கூடும். குறுக்கீடு, இரைச்சல், கந்தல்கூளம், இலக்குப் போலிகள் ஆகிய பலவற்றையும் மீறி இலக்கினைக் கண்டறிவது மெத்தக் கடினம், அதிர்ஷ்ட வசமாகக் கண்டுபிடித்துவிட்டாலுங் கூட, அந்த இலக்கு என்ன இலக்கு என்று அடையாளம் அறிய வழி ஏதும் இல்லை என்பதாக வாசகர் நினைக்கலாம்.

வாசகரை நம்பிக்கை இழக்கச் செய்த ஆசிரியர், இப்பொழுது நிலைமை ஒன்றும் அப்படி நம்பிக்கைக்கு இடம் இல்லாததல்ல என்று நிரூபிக்க முற்படுகிறார். ரேடார்கள் செயல்பட்டு, இலக்குகளை அடையாளம் அறிவதில் வெற்றி பெறுகின்றன என்பதைக்



காட்டப் போகிறார். கண்டறிந்து கொண்ட இலக்குகளை ரேடார் எப்படி அடையாளம் அறிகிறது?

இதன் முன் கண்டிராத ஒருவரை நீங்கள் அடையாளம் அறியும் வழி என்ன? அவருடைய புகைப்படம் இருக்குமாயின் உடனே அவரை அடையாளம் கண்டு கொண்டுவிடலாம். இல்லையேல், குற்ற விசாரணை இலாகாவினர் தாம் தேடும் ஆளின் தோற்றத்தைப் பற்றிய முக்கிய விவரங்களைச் சேகரித்துப் பயன்படுத்திக் கொள்கிறார்களே, இம்மாதிரியான முக்கிய விவரங்களேனும் தெரிந்திருக்க வேண்டும்.

ரேடார் இலக்குகளும் இதையொத்த முறையில் அடையாளம் அறியப் படுகின்றன. ஓவியத்தையோ, புகைப்படத்தையோ அது உபயோகித்துக் கொள்ளவில்லை. அதற்கு ஒரு குறிப்பிட்ட ரேடார் வரைப் படம் தேவைப்படுகின்றது. அந்தப் படம் எப்படி

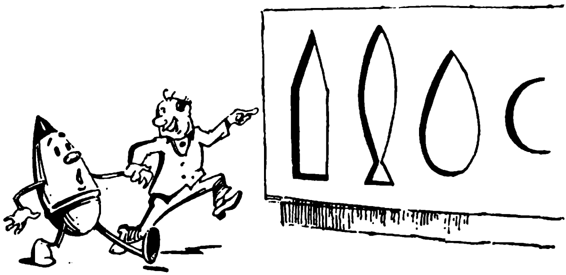
வரையப் படுகின்றது என்பதனைப் பார்ப்போம். கருத்துக்கு உரியதான இலக்கு ரேடாரின் குறிதூரத்திற்குள் கொண்டு வரப்பட்டு, ஒரு பீடத்தில் அமர்த்தப்பட்டு எல்லாத் திசைகளிலும் சுழற்றப்படுகின்றது. ஒவ்வொரு நிலையிலும் அதன்மீது ரேடார் அலைக்கற்றை படும்படியாகச் செய்யப்படுகின்றது. அதன் மீது பட்டு எதிரடிக்கப்படும் சைகை அலைகள் ரேடார் நிலையத்தில் பதிவு செய்யப்படுகின்றன. எதிரடிக்கப்படும் சைகை அலையின் சக்தி, அவ்வலையின் பிரதிபலிப்புக் கோணத்தைப் பொறுத்ததாகும் என்பது நமக்குத் தெரியும். சில கோண அளவுகளில் அதன் சக்தி அதிகமாக இருக்கும், மற்ற கோணங்களில் சக்தி குறைவாக இருக்கும். இலக்கின் கூரிய முனை ரேடாரை நோக்கி யிருக்கும் போது, சக்தி வெகுவாகக் குறைந்துவிடும். இலக்கின் பக்க வாட்டுகள் ரேடாரை நோக்கி இருக்கும் போது, சக்தி அதிகமாகி விடுகிறது.

கார்ட்டீசியன் ஆயத் தொலைவுகளில் (Cartesian coordinates) இலக்கின் கோண அளவுகளை X-அச்சிலும், எதிரடிக்கப்படும் சைகை அலையின் சக்தியினை Y-அச்சிலும் குறித்தால் ஒரு நெளிவரை கிடைக்கும். அதில் பல முகடுகளும் பள்ளங்களும் குறுகிய இடைவெளிகளும் காணப்படும். இதற்குப் பதில் போலார் ஆயத் தொலைவுகளிலும் (polar coordinates) நாம் இந்தச் சித்திரத்தை வரையலாம். இப்பொழுது இலக்கின் கோண அளவுகள் ஒரு வட்டத்தின் பரிதியைச் சுற்றியும் எதிரடிக்கப்படும் சைகை அலையின் சக்தி ஆரத்திலும் குறிக்கப்படுகின்றன.

இப்பொழுது மூடிய அல்லது வட்ட வடிவ நெளி வரை கிடைக்கிறது. கார்ட்டீசியன் நெளிவரையைப் போலவே இதிலும் முகடுகள், பள்ளங்கள், குறுகிய இடைவெளிகள் முதலானவை காணப்படுகின்றன. இந்தச் சித்திரம் ஒரு பூவைப் போன்றதாய் இருக்கிறது. ஒரே ஒரு தனி இலக்கு மட்டும் இருந்ததென்றால் இந்தப் பூ 3 அல்லது 4 இதழ்களுடன் (அல்லது மடல்களுடன்) கசகசா மலரைப் போன்றதாய் இருக்கும். வெட்டு வகைப்பட்ட திரள் இலக்குகளாக இருந்தால், அப்போது இம்மலர் செவந்திப் பூவை ஒத்ததாய் இருக்கும்.

நமது இலக்கின் ரேடார் சித்திரம் நமக்குக் கிடைத்துவிட்டது. ஏறத்தாழ இதே முறையில் பிற இலக்குகளின் சித்திரங்களும் தயாரிக்கப்படுகின்றன. ஓர் இலக்கு மிகப் பெரியதாய் இருந்து அப்படியே அதை ரேடாரின் குறிதூரத்துக்குள் எடுத்துச் செல்ல முடியாவிட்டால், வீதமுறை அளவில் சிறிதாக்கப்பட்ட அதன் மாதிரி உருவை எடுத்து வந்து வைத்து அதே வீதத்தில் முறைக்கப்பட்ட அலைநீளமுள்ள சைகையை உபயோகிக்க வேண்டும். மெய்யான இலக்கிலிருந்து கிடைக்கும் அதே சித்திரம் இப்பொழுது இந்த மாதிரி உருவிலிருந்தும் கிடைக்கும்.

எல்லா வரைப்படங்களையும் இலக்குச் சித்திரங்களையும் சேகரித்து ஒரு சித்திரக் கோப்பு தயாரித்துக் கொள்வோம். ''இத்தனையாவது ரேடார் நிலையத்துக்கான அதிர்வெண் F. இலக்குச் சித்திரக் கோப்பு'' என்று இதற்குப் பெயரிடலாம். ஒரு ரேடார் நிலையத்



துக்கான சித்திரக் கோப்பை வேருெரு நிலையத்துக் காக உபயோகிக்க முடியாதா? முடியாது. செலுத் தப்படும் துடிப்பின் அலை அதிர்வெண்ணை மாற்றிய தும் என்ன ஆகிறது என்று பாருங்கள். அதிர்வெண் ணில் சிறு மாறுதல் செய்தால், எளிய இலக்கின் ரேடார் சித்திரத்தில் மாற்றம் இராது. நெளிவரை யில் அதே எண்ணிக்கையிலான முகடுகளே உள்ளன, அலை வீச்சும் ஒப்பு இடநிலைகளும் மட்டும்தான் சிறி தளவு மாற்றம் பெறுகின்றன. கூட்டு இலக்காக இருந்தால் சைகை அலையின் அதிர்வெண்ணில் சிறு மாற்றம் ஏற்பட்டதும் நெளிவரை வெகுவாய் மாறி விடுகிறது. முகடுகள், அவற்றின் ஒப்பு இடநிலைகளும் பருமன் அளவுகளும் மாறி விடுகின்றன. ஆகவே அலையின் ஒவ்வொரு அதிர்வெண்களுக்கும் தனித் தனி சத்திரத் தொகுப்பு அவசியமாகும்.

இலக்குகளின் நெளிவரைச் சித்திரங்களை ரேடார் ஊழியர்கள் எப்படிப் பயன்படுத்திக் கொள் கிறார்கள் என்று பார்ப்போம்.

இலக்கு அமைதி நிலை இழந்து நிமிடத்துக்குப் பத்து சுற்று வீதம் கரணமடிப்பதாக வைத்துக்

கொள்வோம். ஒவ்வொரு நிமிடமும், இலக்கின் 10 முழு ரேடார் சித்திரங்கள் நமக்குக் கிடைக்கின்றன. இவற்றில் சிறந்த ஒன்றை எடுத்துச் சித்திரக் கோப்பில் உள்ளவற்றுடன் அதை ஒப்பிட்டுப் பார்க்கிரும்.

கோப்பிலுள்ள எந்தச் சித்திரம் அதற்கு முற்றும் ஒத்திருக்கிறதோ, அச்சித்திரமே இலக்கை அடையாளம் காட்டும் சித்திரம். ஆனால் எப்போதும் இது சரியாக அமைந்துவிடுவதாகச் சொல்வதற்கில்லை. உண்மையில் கிடைப்பது கோப்பிலுள்ள சித்திரத்திலிருந்து சில விவரங்களில் வேறுபடுகிறது. பொது நெளிவரை அப்படியே இருக்கலாம். ஆனால் முகடுகள் அதிகமாய் இருக்கலாம். கிடைத்த சித்திரம் முகடுகளில் கோப்பின் வேறொரு சித்திரத்தை அதிகம் ஒத்திருக்கலாம். எது அதிகம் ஒத்திருக்கிறது என்று மதிப்படுவதில் நாம் தவறிழைக்கக் கூடும். சில சமயம், கிடைத்த சித்திரம் கோப்பிலுள்ள இரு சித்திரங்களை ஒத்ததாக இருக்கலாம். அதாவது கிடைத்த சித்திரம் கோப்பிலுள்ள 14, 27 ஆவது சித்திரங்களை ஒத்திருக்கிறது என்பதற்கு மேல் அதிகம் கூற முடியாமற் போகலாம். என்ன செய்வது? சீட்டுக் குலுக்க வேண்டும் போல இருக்கும். இந்த நிலைமையில் தவறிழைக்கப்பட நேரலாம்.

கிடைக்கும் சித்திரம் கோப்பிலுள்ளவற்றில் இரண்டு சித்திரங்களைப் போல் அமைய காரணம் என்ன? ரேடார் சாதனங்களில் உள்ள குறைபாடுகளை ஒதுக்கினால், இரு முக்கிய காரணங்களைக் குறிப்பிடலாம். இரைச்சல் ஒரு காரணமாகும். நெளி

வரையில் இது இரு முகடுகளைக் சேர்த்திடலாம், அல்லது ஒன்றை அகற்றிவிடலாம். இரைச்சலை எப்படிக் கட்டுப்படுத்துவது என்பதை முன்பே கவனித்தோம். இரண்டாவது காரணம் என்னவெனில், ரேடாரானது இலக்கை முறையான நிலையில் கண்டதிலிருந்து சற்றே வேறான கோணத்தில் இப்போது அதைக் காணும்படி இலக்கின் பறத்தல் பாதை அமைந்திருக்கலாம். முழு முகவாட்டில் எடுக்கப்பட்ட புகைப் படத்தைக் கொண்டு பக்கவாட்டு முகத் தோற்றத்தில் தெரியும் ஒருவரை அடையாளம் காண்பது போன்றதாகும் இது. கணிப்புப் பொறியின் துணை கொண்டே இப்போது நாம் இப்பிரச்சினைக்குத் தீர்வு காண முடியும்.

அமைதி நிலையில் அசங்காது செல்லும் இலக்கை அடையாளம் அறிவது இதனிலும் மிக்க கடின பணியாகும். திடமற்ற நிலையில் பறந்து செல்லும் இலக்கிற்கும், திடமான நிலையில் பறந்து செல்லும் இலக்கிற்கும் இரு ஒப்புமை கூறலாம். மோட்டார் கார் காட்சி அறையில் நீங்கள் இருப்பதாக வைத்துக் கொள்வோம். விதவிதமான புதுவகையான கார்கள் எல்லாம் சுழலும் மேஜைகளின் மீது காட்சிக்கு வைக்கப்பட்டுள்ளன. ஒவ்வொரு மேஜையும் சுழன்று கொண்டே இருப்பதால், ஒரு காரின் முழு அமைப்பினையும், ஒரே இடத்தில் நின்று கொண்டே பார்த்துவிடலாம். இதனை அமைதியற்றுக் கரணமடிக்கும் இலக்கிற்கு ஒப்புமையாகக் கூறலாம்.

இப்போது நீங்கள் நெடுஞ்சாலையின் செங்கோணத் திருப்பத்தில் நின்று கொண்டு, சாலையில் செல்

கின்ற கார்களைக் கவனிப்பதாகக் கற்பனை செய்து கொள்ளுங்கள். உங்களை நோக்கி வருகின்ற காரின் முன் பகுதியினையும், கார் உங்களைக் கடந்து செல்லும் போது, அதன் பக்க வாட்டினையும், பிறகு காரின் பின் புறத்தையும் நீங்கள் பார்க்க முடியும். 'அதாவது காரினை முழுமையாகப் பார்த்து விட முடியாது. இதனை அமைதி நிலையில் பறக்கும் இலக்கிற்கு ஒப்புமையாகக் கூறலாம்.

அமைதி நிலையில் செல்லுகின்ற ஓர் இலக்கின் சித்திரத்தை வரைவதற்கு முன்னால், ரேடாரானது அதை நீண்ட நேரம் ஆராய வேண்டியதுள்ளது. எனினும் கிடைக்கும் சித்திரம் சில முக்கிய விவரங்கள் இல்லாததாகவே காணப்படும். சித்திரம் அறை குறையானதாக இருக்கும் போது, இலக்கினை அடையாளம் காண்பது கடினம். கிடைக்கும் சித்திரம் நம் கோப்பிலுள்ள முறைச் சித்திரங்களில் ஒன்றுக்கு மேற்பட்டவற்றை ஒத்ததாய் இருக்கலாம். இம் மாதிரியான ஓர் இலக்கை அடையாளம் காண்பதற்குரிய வழியைப் பறத்தல் பாதையின் அடிப்படையில் தேர்வு செய்ய வேண்டியிருக்கும் என்று தொழில் நுட்ப சஞ்சிகை ஒன்று ஆலோசனை கூறியது. மாறுன பறத்தல் பாதையைக் கொண்ட இலக்குகளை உடனே நிராகரித்து ஒதுக்கிவிடலாம். ஆக, அமைதி நிலை இலக்குகளை அடையாளம் அறிவது, கரணமடிக்கும் இலக்குகளை அறிவது போல் அவ்வளவு நம்பகமாக இருக்க முடியாது, தவறுகள் இழைக்கப்பட நிறை இடம் உண்டு என்பது விளங்குகிறது. வெடிமுனைகளையும் துணைக் கோள்களையும் அமைதி நிலைப்படுத்து

வது அவசியம் என்பதற்கு இது மற்ருெரு காரண மாகும்.

கிடைக்கும் சித்திரம் நம் கோப்பிலுள்ள எதை யும் ஒத்திராத ஒன்ருய் அமைய நேரக் கூடும். கோப் பில் பதிவு செய்யப்படாத புது வகை இலக்கு ஒன்று உதித்திருப்பதன் அறிகுறி அது. இப்போது அதை நாம் பூர்வாங்க மதிப்பீட்டின் அடிப்படையில் அதை நமது கோப்பில் பதிவு செய்து வைத்துக் கொள்ள லாம். அடுத்த முறை அதைச் சந்திக்கையில், ஏற் கெனவே சந்தித்த அயலாளுய் அதை அடையாளம் கண்டு கொள்ளலாம். எப்படியும் அது அயலாளு கவே இருந்து வரும். ஏனெனில் அதைப் பற்றி நாம் அனேகமாய் ஒன்றும் அறியாதவர்களாகவே இருந்து வருகிருேம். இருப்பினும் அதன் பறத்தல் பாதை பற்றிய விவரப் பதிவு சில சந்தர்ப்பங்களில் பெரிய உதவியாக இருக்கக் கூடியது. வேடிக்கைக்காக யாரும் எதையும் புற வெளியினுள் அனுப்ப மாட் டார்கள்—பெருஞ் செலவுக்குரிய ஒன்று வெறும் வேடிக்கையாக இருப்பதற்கில்லே.

ரேடார் சித்திரங்களேக் கொண்டு ரேடார் ஊழி யர்கள் பொதுவாக இவ்வாறுதான் அடையாளம் அறிகிருர்கள். நாம் கூறியது மிகவும் சுருக்கமான ஒரு உருவரையே ஆகும். மிகப் பலரும் படித்தற்கு ரிய இம்மாதிரியான ஒரு புத்தகத்தில் எல்லா விவரங் களேயும் கூறுவது சாத்தியமன்று. ஆளுல் பிராதன கருத்தோட்டங்களேப் பொறுத்த வரை அவை இங்கே எடுத்துரைக்கப்பட்டிருக்கின்றன.

பெருங் கதை ஒன்றில் ஒரு சிறு பகுதியைத் தெரிந்து கொண்டோம்

புத்தகத்தின் இறுதி அத்தியாயம் இது. வாசகரிடம் விடை பெற வேண்டிய நேரம் நெருங்கி விட்டது. ரேடாரைப் பற்றி வாசகர் நிச்சயம் மேலும் மேலும் பலவும் படிப்பார் என்பதை நினைக்கையில் ஆசிரியருக்கு மன அமைதி உண்டாகிறது. ரேடாரைப் பற்றிச் சிறிதும் பெரிதுமாய் நிறைய புத்தகங்கள் வெளிவருகின்றன. இவற்றில் சில நிச்சயம் வாசகரது கைக்கு வந்து சேரும்.

அதே போது ஆசிரியருக்கு கொஞ்சம் வருத்தமாகவும் இருக்கிறது. மிகப் பலரும் படிப்பதற்குரிய எளிய விஞ்ஞான, தொழில்நுட்பப் புத்தகம் எதுவும் மிகவும் சீக்கிரமாகவே பழைமைப்பட்டு விடுகிறது. வியப்புக்குரிய விந்தையாக எடுத்துரைக்கப் பட்டது ஒரு சில ஆண்டுகளுக்குள் கிழடாகி அரங்கை விட்டு விலகுகிறது — ரேடார் பொறியியல் நான்கு கால் பாய்ச்சலில் அல்லவா முன்னேறிச் செல்கிறது. ஆயினும் வருங்கால உயர் வகை ரேடார்களுங்கூட, அவை எவ்வளவுதான் நூதனமாக இருப்பினும், அதே அடிப்படைக் கோட்பாடுகளையே பயன்படுத்திச் கொள்ள வேண்டியிருக்கும். ஆகவே இந்த வருங் காலத்து வாசகருக்கும் இந்தப் புத்தகம் ஓரளவு உதவியாகவே இருக்கும்.

இப்புத்தகமே ரேடாரைப் பற்றிய முதற் புத்தகமாக சில வாசகர்களுக்கு இருந்திருக்கலாம். இம் மாதிரியான வாசகர்களுக்குச் சில வார்த்தைகள்

கூறுவது பொருத்தமாய் இருக்கும். ரேடாரைப் பற்றிய எல்லா விவரங்களையும் தெரிந்து கொண்டதாக நினைக்க வேண்டாம். ''பிற வழிமுறைகளும் உள்ளன'', ''இப்பிரச்சினைக்கு வேறு சில அணுகு முறைகளும் இருக்கின்றன''... என்ற முடிவுரையை அடிக்கடி இங்கு நீங்கள் படித்திருப்பீர்கள். ஆக, இப்புத்தகம் ஓர் ஆரம்ப உருவரையே ஆகும். ரேடார் ஊழியர்கள் சமாளிக்கும் பிரச்சினைகளை அறிமுகம் செய்து கணப்பொழுதுக்கு உங்கள் பார்வைக்குக் கொண்டு வரும் புத்தகமே இது. இந்தப் பிரச்சினை ஒவ்வொன்றும் ஆழ்ந்த விஞ்ஞான ஆராய்ச்சிக்கும், தனித் துறை ஏடுகளிலும் மாநாடுகளிலும் அனல் பறக்கும் விவாதங்களுக்கும் உரியதாகும்.

இப்புத்தகத்தில் அட்டவணை எதையும் தரக் கூடாதென தடை ஏதும் விதிக்கப்பட்டதாக ஆசிரியருக்கு நினைவு இல்லை. இந்த நிலைமையைப் பயன்படுத்தி முதலாவதும் கடைசியானதுமாகிய ஒரேயொரு அட்டவணையை இங்கு அளிக்கிறோம். இடப் புறத்தில் இருப்பவை ரெடார் தத்துவத்தின் சில பிரிவுகள். வலப் புறத்தில் அந்தந்தப் பிரிவுக்கும் அவசியமான சில அடிப்படை அறிவுத் துறைகள் குறிக்கப்படுகின்றன.

யாவற்றுக்கும் மேலாய் இன்றைய ரேடார் நிபுணர் கணிப்புப் பொறிக்குச் செயல் திட்டம் வகுத்திடவும், அதைச் செயல்படச் செய்யவும் தெரிந்திருக்க வேண்டும். அதோடு அவர் அயராது பாடுபட வேண்டும், நகைச் சுவை உணர்வுடையவராகவும் இருத்தல் வேண்டும்.

ஆகவே இப்புத்தகத்தில் நீங்கள் தெரிந்து கொண்டதற்கு மேல் அதிகமாய் உங்களுக்கு ரேடாரைப் பற்றித் தெரியாதெனில், ரேடார் நிலையத்தில் ஊழியராக வேலை தேட அவசரமாகப் புறப்படுமுன் ஆழ்ந்த ஆலோசனை செய்யுங்கள். தக்க அடிநிலை இல்லாமலே ரேடார் பணித் துறையில் இறங்குவது வீண் வேலையாகவே அமைந்து விடும். அடிநிலையைப் பெற முயலுங்குங்கள். இந்த அட்டவணையைக் கண்டு அஞ்ச வேண்டாம்—எந்த விஞ்ஞான அல்லது தொழில்நுட்பத் துறையை எடுத்துக் கொண்டாலும் நீங்கள் தெரிந்து கொள்ள வேண்டியவை இதனிலும் குறைவாய் இருக்கப் போவதில்லை.

இந்தப் புத்தகத்தை நீங்கள் மூடுமுன் மேலும் ஒரு வார்த்தை. ரேடார் துறையினர் எவரும் ரேடார் குறித்து ஏமாற்றமடைய நேர்ந்ததில்லை. அருமை வாசகரே, பிரியா விடை பெறுகிறோம்.

முதலும் கடையுமான அட்டவணை

கணிதப் பகுப்பாய்வு, சார்புகள் கோட்பாடு, காம்பிளக்சு மாறியல் சார்புகள் கோட்பாடு, கணிதத் தர்க்கவியல், நிகழ்தகவுக் கோட்பாடு, தகவல் கோட்பாடு, குழுஉக்குறிக் கோட்பாடு, ரேடியோ மின்சுற்றுக் கோட்பாடு, இன்ன பிற.	சைகை அலைவடிவின் தேர்வு
ரேடியோ அலை பரப்புகைக் கோட்பாடு, அயனக் கோள இயற்பியல், நிகழ்தகவுக் கோட்பாடு, எலக்டிரோ டைனமிக்சு, தகவல் கோட்பாடு, புள்ளியியல் ரேடியோ இயற்பியல்இன்ன பிற.	ரேடார் செயற்பாடு பற்றிய மதிப்பீடு
ஏரியல் கூட்டிணைப்பு, ஃபீல்டு கோட்பாடு, ரேடியோ அலை பரப்புகை, எலக்டிரோ டைனமிக்சு, மெகானிக்சு, திட-நிலை இயற்பியல், பொருள் வலிமை, இன்ன பிற.	ஏரியல்கள்
புள்ளியியல் ரேடியோ பொறியியல், புள்ளியியல் ரேடியோ இயற்பியல், நிகழ்தகவுக் கோட்பாடு, தகவல் கருதுகோள், சோதனை ஆய்வுப் புள்ளியியல் கோட்பாடு, வார்ப்பு இனங்கண்டுணர் கோட்பாடு, ஒளியியல்,புறச் சிவப்புக் கதிர் நுட்பவியல் தொலைக் காட்சி, இன்ன பிற.	சைகையைக் கண்டறிதல், விவரங்களைப் பதனம் செய்தல்

பொருளடக்கம்

பக்கம்

முன்னுரை	5
காரண விளக்கம்	9

முதல் பாகம்.

பரிச்சயம் பெறுங்கள்

ரேடார் என்பது என்ன?	17
ரேடாரின் படைத் துறைப் பிரவேசம்	27
விமானப் போக்குவரத்தில் ரேடார்	32
ரேடாரும் ஏவுகணைகளும்	46
கடலில் ரேடார்	57
சேனையில் ரேடார்	65
ரேடாரும் விஞ்ஞானமும்	71
விண்வெளியில் ரேடார்	77
நம்மை விட்டுப் பிரியாதது	84

இரண்டாம் பாகம்.
ரேடார் எப்படி இயங்குகிறது

நெருங்கிச் சென்று பார்வையிடுவோம்	105
தர மதிப்பீடு செய்வது எப்படி?	113
இலக்கின் இடம் எப்படி அறியப்படுகிறது	120
ரேடார் அதனை எப்படிச் செய்கிறது (1)	137
இரைச்சல்—எங்கிருந்து ஏன் எழுகிறது?	146
ரேடார் அதனை எப்படிச் செய்கிறது (2)	161
எளிய வழி	179
அழையா விருந்தாளிகள்	185
சைகையை அனுப்பி, எதிரடிப்பைப் பெற்று, இலக்கின் இடநிலையை அறிவது எப்படி?	192
இயற்கை ரேடார் பொறி	201
இலக்கின் ஏய்ப்பு முறை	208
பெருங்கதை ஒன்றில் ஒரு சிறு பகுதியைத் தெரிந்து கொண்டோம்.	230

அன்புள்ள வாசகரே!

''மீர்'' பதிப்பகம் பலவிதமான விஞ்ஞான, தொழில்நுட்ப நூல்களைத் தமிழ் மொழியில் வெளியிடும். உங்களுக்கு வேண்டிய புத்தகங்கள் எத்தகையவை என்பதையும் இவைகளைப் பற்றிய உங்களது அபிப்பிராயங்களையும் ஆலோசனைகளையும் நமக்குத் தெரிவிக்கும்படி வேண்டுகிறோம்.

நமது முகவரி:
சோவியத் நாடு. மாஸ்கோ.
ரீஜ்ஸ்கி பெரெயூலக், 2.

1979 ஆம் ஆண்டில் ''மீர்'' பதிப்பகம் ''பள்ளிநிலை பௌதிகத்தில் கணக்குகளும் கேள்விகளும்'' என்னும் புத்தகத்தை வெளியிடும். இப்புத்தகம் உரையாடல் வடிவத்தில் அமைந்தது. பலவிதமான இயற்பியல் கணக்குகளைப் போடும் முறைகளும், இந்தக் கணக்குகளைப் போடுவதில் மாணவர்கள் வழக்கமாகச் செய்யும் தவறுகளும் இப்புத்தகத்தில் எளிய முறையில் விளக்கப்படுகின்றன.

குறிப்பாக, தேர்வுகளுக்காகத் தயாரிக்கும் மாணவர்களுக்கு இந்த நூல் பேருதவியாக இருக்கும். கடந்த வருடங்களில் ஆங்கில மொழியிலும் ஸ்பானிய மொழியிலும் ''மீர்'' பதிப்பகம் வெளியிட்டிருக்கும் புத்தகமாகும் இது.

''மீர்'' பதிப்பகம் கூடிய சீக்கிரத்தில் ''தொழில் நுட்ப இயந்திரவியல் (கோத்திணைப்பு)'' (Assembly Practice) என்னும் பாடப் புத்தகத்தை வெளியிடும். கோத்திணைப்புச் செய்முறைகளைக் கையாளுவதில் தொழிலாளர்களுக்கு உதவி புரிவது இந்தப் புத்த கத்தின் தலையாய நோக்கம்.

பலவிதமான பொறிகளது மூலக்கூறுகள் எவ்வாறு கோத்திணைக்கப்படுகின்றன, அதனைச் செய்யும் போது எந்தக் கருவிகள் எப்படிப் பயன்படுத்தப்படுகின்றன என்பவற்றையெல்லாம் இப்புத்தகம் விவரமாக விளக்கிக் கூறும்.

இந்தப் புத்தகம் இந்திய ஆலைத் தொழிலாளர் களைப் பயிற்றுவிப்பதற்குப் பெரிதும் பயனுள்ளதாயி ருக்கும் என்பதில் ஐயம் இல்லை.

ஏற்கெனவே இது ஆங்கில மொழியில் வெளிவந் திருக்கிறது.

இப்புத்தகத்தில் உலோகங்களது பொது தொழில் நுட்ப இயல்புகள், கோத்திணைப்புத் தொழிலாளர் (fitter) பணிகளின் தொழில்நுட்ப செய்முறைகள், கோத்திணைப்பு வேலைகளை இயந்திரமயமாக்குதல், தானியங்கிமயமாக்குதல் போன்ற முக்கியமான விவரங் கள் தெளிவு செய்யப்படுகின்றன.

தொழிலாளர்களுக்கும் தொழில் ஆதிபர்களுக்கும் தொழில்நுட்பத்தில் ஆர்வமுள்ள தமிழ் வாசகர்களுக் கும் இன்றியமையாத நூல் இது.

லியோ பப்ரோவ் எழுதிய ''நன்னம்பிக்கைக்கு ஆதாரம்'' என்னும் நூலை ''மிர்'' பதிப்பகம் வெளியிடத் தயாரித்து வருகிறது.

நாட்டின் சமுதாய, பொருளாதார முன்னேற்றத்தில் விஞ்ஞான, தொழில்நுட்ப முன்னேற்றத்துக்குள்ள முக்கியத்துவம் என்ன? விஞ்ஞான, தொழில்நுட்ப முன்னேற்றம் என்பது என்ன? இவை போன்ற முக்கிய பிரச்சினைகளை விஞ்ஞானியும் பத்திரிகையாளருமான லியோ பப்ரோவ் தனது புத்தகத்தில் விவாதிக்கிறார்.

நமது உலகின் வருங்காலம் நம்பிக்கைக்கு உரியது, ஆர்வம் அளிப்பது என்பதையும், இந்த வருங்காலத்தை நாம் வெற்றிகரமாய் உருவாக்க முடியும் என்பதையும் ஆசிரியர் நிலைநாட்டுகிறார்.

இன்று ரேடார் இல்லாத இடமே இல்லை, எங்கு நோக்கினும் ஏதேனும் ஒரு வடிவில் தென்படுகிறது. தெரு, நீர்க் கரை, பாதாளச் சாலை—எதுவும் பாக்கியின்றி எங்கும் ரேடார் செயல்படுகிறது; ஏனைய எல்லாத் துறைகளையும் விஞ்சும் அளவில் இராணுவத் துறையிலும் விஞ்ஞானத் துறையிலும் பயன்படுத்தப் படுகிறது.

எல்லாத் துறைகளிலும் ஆயிரக் கணக்கில் ரேடார் செயல் படுகிறது. சில ரேடார்கள் மூக்குக் கண்ணாடியில் பொருத்தப் படும் அளவுக்குச் சின்னஞ் சிறியவை, வேறு சில பல நூறு டன் எடை பெறும்படி அவ்வளவு பெரியவை.

சோவியத் இதழ்களையும் பிற நாடுகளின் வெளியீடுகளை யும் ஆதாரமாகக் கொண்ட இந்தச் சிறு புத்தகம், ரேடாரின் கதையைச் கூறுகிறது. ரேடார் என்பது என்ன, அது ஆற்றும் செயல் என்ன, எப்படி இச்செயல்களைச் செய்கிறது, இன்றைய உலகில் இப்படி அது முதன்மை பெற என்ன காரணம் —இப் புத்தகம் எளிய முறையில் புரிந்து கொள்ளும்படி விளக்கு கிறது. கணிதச் சூத்திரம் ஒன்றுகூட இல்லாமல், கதை சொல் லும் நடையில் விளக்குகிறது. தேவையான இடங்களில் சித் திரங்கள் மூலம் விளங்க வைக்கிறது.

ரேடார் பொறிகள் எப்படி எல்லாம் மனிதனுக்குப் பணி புரிகின்றன என்பதைச் சாதாரண வாசகரும் சுவையான எளிய முறையில் தெரிந்து கொள்ள உதவும் புத்தகம் இது. ரேடாரின் விந்தைச் செயல்கள் பற்றிய உண்மைகளை அறிந்து கொள்ளுங்கள்.